



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE**  
**CONSTRUCCIONES**

**Ampliación y Mejoramiento del sistema de agua potable de  
la comunidad Nauchun, Chununcari La Unión de la  
Parroquia San Bartolomé del Cantón Sígfig, Provincia del  
Azuay**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE  
CONSTRUCCIONES**

**Autores:**

**JORGE VÍCTOR CÁRDENAS OCHOA**  
**WILLIANM FERNANDO CUESTA NARANJO**

**Directora:**

**MARÍA BELÉN ARÉVALO DURAZNO**

**CUENCA – ECUADOR**

**2017**

## **DEDICATORIA**

Con profundo respeto, gratitud y admiración dedico el presente trabajo:

A Dios y a mis Padres que forjaron en mi con estímulo e inspiración la dedicación al estudio, a la investigación, al sacrificio, al trabajo honesto y solidario, guías espirituales en mi formación. A mis hermanas que me ayudaron a perseguir mis sueños. A mis brillantes maestros de la Facultad, que me entregaron la luz del conocimiento para enfrentar nuevos retos. A los beneficiarios de este trabajo, para que se convierta en una herramienta técnica y en una ayuda socio-económica para mejorar sus condiciones de vida. A todas y cada una de las personas que directa o indirectamente colaboraron en la realización del presente trabajo, que confiaron y ayudaron a alentar mi sueño para enfrentar la realidad.

Jorge Cárdenas.

Dedico este proyecto de tesis a Dios a mis padres, hermana y esposa. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, a mi esposa, inspiración y apoyo incondicional. A todos ellos que han depositado su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Los amo con mi vida.

Williamm Cuesta.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios ya que he cumplido una etapa importante de mi vida en la formación profesional de la carrera de Ingeniería Civil de mi querida Universidad del Azuay, que cada día se prestigia más y más gracias a su visión y misión que entrega esta gran institución, manteniendo latente sus principios y preceptos de servicio a la sociedad; que me formo con alto grado de responsabilidad y conciencia social; que me permitirá desarrollarme en mi profesión con integralidad y honestidad para transitar por los caminos correctos de la vida. Mi gratitud eterna a todos quienes de una u otra forma colaboraron para la realización de mi tesis; para ellos mi imperecedero agradecimiento, así como a todos mis maestros y autoridades que trabajan día a día con la esperanza de un presente y un mañana mejor.

Jorge Cárdenas.

Agradezco primero a Dios por brindarme la oportunidad de estudiar y terminar esta carrera, a mi familia por guiarme y acompañarme de forma incondicional en cada etapa de mi vida, a la Universidad especialmente a nuestra facultad, y a todos los profesores que supieron transmitir sus conocimientos de la mejor manera.

Williamm Cuesta.

**INDICE DE CONTENIDOS**

AGRADECIMIENTO .....	ii
INDICE DE CONTENIDOS.....	iii
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE TABLAS .....	ix
INDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO 1 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACION LINEA BASE.....</b>	<b>5</b>
1.1 Recopilación de información cartográfica .....	5
1.1.1 Ubicación.....	5
1.1.2 Vías de acceso y comunicación .....	6
1.1.3 Base Cartográfica .....	7
1.1.4 Flora y Fauna .....	8
1.1.5 Hidrología.....	11
1.3 Análisis de Suelos.....	16
1.3.1 Generalidades.....	16
1.3.2 Ubicación y Acceso.....	16
1.3.3 Geología Local.....	17
1.3.4 Geología Estructural.....	17
1.3.5 Parámetros de resistencia y deformación del suelo .....	17
1.3.6 Características de los suelos Encontrados .....	19
1.3.7 Aspectos Geológicos .....	21
1.3.8 Aspectos Geotécnicos.....	22
1.4 Abastecimiento actual del agua y análisis de fuente .....	23
1.5 Distribución de la población, características socioeconómicas. ....	29
1.5.1 Tipo de Agua en la Actualidad .....	32
1.5.2 Medidores .....	32
1.5.3 Situación Ocupacional.....	33
1.5.5 Enfermedades y Salud .....	35

1.6 Revisión de la normativa a utilizar .....	36
---	----

## **CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO .....**

38

2.1 Parámetros de Diseño .....	38
2.1.1 Definiciones .....	38
2.1.2 Cálculo de la población de diseño.....	39
2.1.3 Caudal medio .....	42
2.1.4 Caudal máximo diario .....	43
2.1.6 Almacenamiento: .....	44
2.1.7 Fuente de Abastecimiento .....	45
2.1.8 Captación .....	45
2.1.9 Conducción .....	45
2.1.10 Tratamiento.....	46
2.1.11 Distribución de agua potable .....	46
2.1.12 Aforos .....	47
2.2 Especificaciones de la Norma para el diseño de la Conducción y Distribución ...	48
2.3 Parámetros de Diseño de una Planta de Tratamiento .....	49
2.3.1 Capacidad del Sistema.....	50
2.3.2 Componentes Principales .....	50
2.4 Análisis de alternativas de Tratamiento .....	54
2.4.1 Filtro Grueso Dinámico .....	56
2.4.1.1 Estructura de Entrada y Salida .....	57
2.4.1.2 Accesorios de Regulación y Control.....	57
2.4.2 Filtros Gruesos Ascendentes en Capas:.....	58
2.4.3 Filtro Lento: .....	60
2.4.3.6 Sistema de Drenaje.....	62
2.4.3.7 Cámara de Salida.....	62
2.4.4 Mezcla Rápida .....	63
2.4.5 Flocculador de Medios Porosos.....	63
2.4.6 Sedimentadores Convencionales de Flujo Horizontal .....	64
2.5 Galerías de Infiltración .....	65
2.5.1 Parámetros y recomendaciones .....	65
2.6 Sectorización de la red de distribución .....	66

2.7 Análisis de alternativas de materiales y accesorios a utilizar .....	67
<b>CAPÍTULO 3 DISEÑO DEFINITIVO .....</b>	<b>68</b>
3.1 Diseño de la captación .....	68
3.2 Diseño de la conducción de agua cruda.....	70
3.2.1 Ecuación de la Energía .....	72
3.2.2 Línea de Energía o de Alturas Totales: .....	73
3.2.3 Línea Piezométrica:.....	73
3.2.4 Perdidas de Carga (Darcy – Weisbach):.....	73
3.2.5 Número de Reynolds:.....	74
3.2.6 Otras Pérdidas de Carga .....	75
3.3 Diseño de la Plata de Tratamiento.....	76
3.3.1 Diseño de Pretratamiento (Filtro Grueso Dinámico) .....	76
3.3.2 Diseño de Pretratamiento .....	83
3.3.3 Diseño de Filtro Lento de Arena.....	85
3.3.4 Diseño de la Mezcla Rápida .....	88
3.3.5 Diseño de Floculador de Medio Poroso .....	91
3.3.6 Diseño de Sedimentador de Flujo Horizontal.....	94
3.3.7 Cloración .....	96
3.4 Diseño de la red de distribución.....	100
3.5 Manual de Operación y Mantenimiento .....	105
3.5.1 Mantenimiento de Galerías de Infiltración.....	105
3.5.2 Mantenimiento de Filtro Grueso Dinámico.....	105
3.5.3 Mantenimiento de Filtros Gruesos Ascendentes en Capas.....	106
3.5.4 Mantenimiento de Filtros Lentos de Arena .....	109
3.6 Mantenimiento de Floculador de medio poroso.....	115
3.7 Mantenimiento de Sedimentadores .....	116
3.8 Puesta en marcha del Equipo Clorid L10 .....	117
<b>CAPÍTULO 4 PRESUPUESTO .....</b>	<b>118</b>
4.1 Cuantificación de las Cantidades de Obra .....	118
4.2 Análisis de Precios Unitarios .....	118

4.3 Presupuesto .....	118
4.4 Elaboración del Cronograma Valorado y Fórmula Polinómica .....	119
4.6 Especificaciones Técnicas.....	119
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>120</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>124</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>126</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Límites de la Parroquia San Bartolome.....	6
Figura 1.2 Vías de Acceso.....	7
Figura 1.3 Cartografía Base.....	8
Figura 1.4 Zonas de Precipitación en la Parroquia San Bartolomé .....	13
Figura 1.5 Temperatura en la Parroquia San Bartolomé .....	14
Figura 1.6 Estación Total Trimble S3 .....	15
Figura 1.7 GPS .....	15
Figura 1.8 Lugar de Emplazamiento de la Planta de Tratamiento .....	17
Figura 1.9 Sondeos.....	20
Figura 1.10 Sondeos No.1 .....	20
Figura 1.11 Muestra de Suelo.....	21
Figura 1.12 Captaciones.....	23
Figura 1.13 Esquema Actual del Proyecto elaborado en EPANET.....	24
Figura 1.14 Captaciones Tanques.....	24
Figura 1.15 Tanque Común.....	25
Figura 1.16 Tanque de Reserva .....	25
Figura 1.17 Caseta de Cloración deshabilitada .....	26
Figura 1.18 Toma de Presiones con un Manómetro .....	27
Figura 1.19 Toma de Muestras en las Captaciones .....	27
Figura 1.20 Toma de Muestras en el Tanque .....	27
Figura 1.21 Encuestas .....	30
Figura 1.22 Encuestas.....	30
Figura 1.23 Distribución de la Población.....	30
Figura 1.24 Población .....	31
Figura 1.25 Calificación del Sistema Actual de Agua.....	31
Figura 1.26 Agua Lluvia .....	32
Figura 1.27 Medidor .....	32
Figura 1.28 Conexión Directa .....	33
Figura 1.29 Agua Lluvia .....	33
Figura 1.30 Cultivos de la Parroquia San Bartolomé .....	34
Figura 1.31 Tipo de Trabajo.....	35
Figura 1.32 Ingresos Económicos.....	35
Figura 1.33 Enfermedades.....	36
Figura 2.1 Esquemas de Tratamiento Planteados .....	55
Figura 2.2 Componentes de un filtro Grueso Dinámico .....	56
Figura 2.2.3 Filtro Grueso Ascendente en Capas .....	58
Figura 2.4 Componentes de un filtro Grueso Dinámico .....	60
Figura 2.5 Floculadores de Medio Poroso .....	64
Figura 2.6 Sedimentador Convencional.....	65
Figura 3.1 Distribución típica de las perforaciones circulares en tuberías de hierro fundido y P.V.C .....	68
Figura 3.2 Galerías de Infiltración de tubería P.V.C Tipo YE.....	68
Figura 3.3 Distribución de Capas Concéntricas en el Forro Filtrante.....	69

Figura 3.4 Pozo Colector al final de Sistemas de Recolección .....	70
Figura 3.5 Filtro Lento con Control a la Entrada.....	109
Figura 3.6 Rearenamiento de un Filtro Lento .....	114

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Fauna del Cantón Sígsig .....	9
Tabla 1.2 Diversidad de Aves del Cantón Sígsig .....	9
Tabla 1.3 Reptiles y Anfibios del Cantón Sígsig.....	10
Tabla 1.4 Ubicación del Proyecto.....	16
Tabla 1.5 Ubicación Geográfica de los Sondeos .....	19
Tabla 1.6 Parámetros geotécnicos encontrados .....	19
Tabla 1.7Asentamientos .....	21
Tabla 1.8 Capacidad Admisible por ancho de Plinto.....	22
Tabla 1.9 Localización de Captaciones.....	23
Tabla 1.10 Tanque Existente .....	25
Tabla 1.11 Descripción de Muestras tomadas en el Sistema .....	28
Tabla 1.12 Parámetros Físicos, Inorgánicos y Microbiológicos .....	29
Tabla 2.1 Tasa de Crecimiento Poblacional.....	39
Tabla 2.2 Método Geométrico .....	40
Tabla 2.3 Niveles de Servicio para Sistemas de Abastecimiento de Agua, Disposición de Excretas y Residuos Sólidos .....	41
Tabla 2.4 Dotaciones de Agua para los diferentes niveles de servicio .....	41
Tabla 2.5 Porcentaje de Fugas a considerarse en el Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable .....	42
Tabla 2.6 Calculo Caudal Medio .....	42
Tabla 2.7 Caudal Máximo Diario .....	43
Tabla 2.8 Caudal Máximo Horario .....	44
Tabla 2.9 Aforos de la Tubería proveniente de la Comunidad de Singapugro .....	47
Tabla 2.10 Aforos de la Tubería proveniente de las Captaciones más el aporte de una Quebrada .....	48
Tabla 2.11 Criterios de Diseño para Filtros Gruesos Dinámicos .....	51
Tabla 2.12 Criterios de Diseño para Filtros Gruesos Ascendentes en Serie .....	52
Tabla 2.13 Criterios de diseño para Filtros Lentos.....	53
Tabla 2.14 Criterios de diseño para Sedimentadores Convencionales .....	54
Tabla 2.15 Guía para la selección de sistemas de tratamiento para agua superficial en aguas rurales .....	56
Tabla 2.16 Sectorización de la Red de Distribución.....	67
Tabla 3.1 Coeficiente de Rugosidad para diferentes Materiales .....	71
Tabla 3.2 Ubicación de Válvulas y Tanques Rompe Presión .....	72
Tabla 3.3 Resultados de la Línea de Conducción.....	75
Tabla 3.4 Tabla de resultados de un Filtro Grueso Dinámico .....	82
Tabla 3.5 Tabla de resultados de los Filtros Gruesos Ascendentes en capas en serie ...	85
Tabla 3.6 Tabla de resultados de los Filtros Lentos de Arena.....	87
Tabla 3.7 Table de Resultados de Mezcla Rapida .....	90
Tabla 3.8 Factores de forma y porosidad de materiales granulares típicos.....	91
Tabla 3.9 Tabla de resultados de Floculador de Medio Poroso .....	94
Tabla 3.10 Tabla de resultados del Sedimentador de Flujo Horizontal.....	96
Tabla 3.11 Clorid S.A. (Catálogo del fabricante).....	98

Tabla 3.12 Comparación de Alternativas de Tratamiento .....	99
Tabla 3.13 Resultados de los Ramales Principales de la Red de Distribución .....	101
Tabla 3.14 Dispositivos de la Red de Distribución .....	104
Tabla 3.15 Mantenimiento Filtros Gruesos Dinámicos .....	105
Tabla 3.16 Puesta en Marcha, Limpieza Hidráulica de Filtros Gruesos Ascendentes en Capas .....	106
Tabla 3.17 Limpieza Manual de Filtros Gruesos Ascendentes en Capas .....	107
Tabla 3.18 Mantenimiento Filtros Gruesos Ascendentes en Capas .....	108
Tabla 3.19 Procedimientos para poner en servicio un filtro nuevo Figura 3.5 .....	110
Tabla 3.20 Procedimiento de operación normal y ajustes diarios. ....	110
Tabla 3.21 Puesta fuera de servicio de un filtro lento para mantenimiento .....	111
Tabla 3.22 Procedimiento para limpiar un lecho filtrante.....	111
Tabla 3.23 Procedimiento para lavado de arena con manguera .....	113
Tabla 3.24 Procedimiento para reponer la arena de un filtro .....	113
Tabla 3.25 Manual de Operación y Mantenimiento Floculador de Medio Poroso .....	116
Tabla 3.26 Manual de Operación y Mantenimiento Sedimentador de Flujo Horizontal .....	116
Tabla 3.27 Manual de Operación y Mantenimiento Sedimentador de Flujo Horizontal .....	117
Tabla 3.28 Operación Equipo Clorid L10.....	117

## **INDICE DE ANEXOS**

ANEXO 1: Modelo de Encuesta.

ANEXO 2: Resultados de la Encuesta.

ANEXO 3: Estudio de Suelos.

ANEXO 4: Estudio de Agua.

ANEXO 5: Eficiencias de la Remoción.

ANEXO 6: Vertedero Triangular y Perdidas de Carga en Filtros al momento de Filtrado y Lavado.

ANEXO 7 Memoria de Cálculo.

ANEXO 8: Planos.

ANEXO 9: Resultados de la Conducción EPANET.

ANEXO 10: Resultados de la Red de Distribución EPANET.

ANEXO 11: Cantidades de Obra de las Alternativas 1 y 2.

ANEXO 12: Presupuesto Referencial y Análisis de Precios Unitarios de las Alternativas 1 y 2.

ANEXO 13: Cronograma Valorado de Trabajos de las Alternativas 1 y 2.

ANEXO 14: Especificaciones Técnicas del Proyecto de las Alternativas 1 y 2.

**AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE  
DE LA COMUNIDAD NAUCHUN, CHUNUNCARI LA UNIÓN DE LA  
PARROQUIA SAN BARTOLOMÉ DEL CANTÓN SÍGSIG, PROVINCIA  
DEL AZUAY**

**RESUMEN**

El sistema de agua con el que cuentan actualmente las comunidades de Nauchun y Chunucari La Unión de la Parroquia San Bartolomé, es deficiente en cantidad y calidad. Para mejorar y ampliar el mismo se optó por el rediseño de captación, conducción y red de distribución, todo en base a la norma vigente. Al no disponer de ningún tipo de tratamiento se realizó el diseño de dos alternativas para la planta de tratamiento con su respectivo manual de operación y mantenimiento. Con este trabajo se pretende brindar un buen sistema de agua potable y así mejorar la calidad de vida de toda la población.

**Palabras Clave:**

Tratamiento, captación, conducción, planta, red, distribución.

María Belén Arévalo Durazno

**Directora de Trabajo de Titulación**

Paul Cornelio Cordero Díaz

**Director de Escuela**

Jorge Víctor Cárdenas Ochoa

William Fernando Cuesta Naranjo

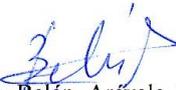
**Autores**

**EXPANSION AND IMPROVEMENT OF THE DRINKING WATER  
SYSTEM OF THE COMMUNITY OF NAUCHUN, CHUNUNCARI LA  
UNION, SAN BARTOLOME PARISH, SIGSIG CANTON, AZUAY  
PROVINCE**

**ABSTRACT**

The water system the communities of *Nauchun* and *Chunucari La Union* of *San Bartolome* Parish currently have is deficient in quantity and quality. In order to achieve its improvement and expansion, the redesign of its collection, piping and distribution network based on the current norm was carried out. Since there was no treatment previously done in the plant, two alternatives with the corresponding operation and maintenance manuals were designed. This work aims to provide a good drinking water system; and thus, improve the quality of life of the entire population.

**Keywords:** Treatment, Collection, Piping, Plant, Network, Distribution.

  
María Belén Arévalo Durazno  
**Thesis Director**

  
Paul Cornelio Cordero Díaz  
**School Director**

  
Jorge Víctor Cárdenas Ochoa

**Authors**

  
William-Fernando Cuesta Naranjo

  
UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY  
Dpto. Idiomas

  
Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo

Cárdenas Ochoa Jorge Victor

Cuesta Naranjo William Fernando

Trabajo de Titulación

Ing. María Bélen Arévalo Durazno. MSc

Febrero, 2017

**AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE  
DE LA COMUNIDAD NAUCHUN, CHUNUNCARI LA UNIÓN DE LA  
PARROQUIA SAN BARTOLOMÉ DEL CANTÓN SÍGSIG, PROVINCIA  
DEL AZUAY**

**INTRODUCCIÓN**

**Generalidades**

**Planteamiento del Problema**

Actualmente la Comunidad de Nauchun, Chunucari La Unión de la Parroquia San Bartolomé, cuenta con un sistema de agua potable para 72 usuarios, el mismo que necesita ser remplazado, debido al incremento de la población y sobre todo a las deficiencias que presenta: falta de protección en las captaciones, presencia de ganado vacuno alrededor de las mismas, conducción deteriorada, ausencia de válvulas de aire, carencia de una planta de tratamiento, además de escasez de agua en las redes; son los principales problemas que evidencian el mal estado del sistema. Mediante el presente proyecto se logrará solucionar todos estos inconvenientes y se dotará de agua para el consumo humano a toda la población.

**Alcance**

Determinar el estado actual de la red de agua existente, frente al incremento de la población que ha sufrido la comunidad y realizar el levantamiento topográfico, que nos permita definir el entorno del proyecto.

Definir alternativas que se incorporaran al nuevo sistema, teniendo una idea clara del plan de ampliación y mejora.

Determinar el Diseño definitivo del Sistema (captación, conducción, planta de tratamiento y red de distribución), con base a la norma vigente.

Determinar el Presupuesto Referencial del Proyecto.

### **Antecedentes**

El sistema de agua potable de las comunidades de Nauchun, Chunucari La Unión de la Parroquia San Bartolomé, debido a la falta de operación y mantenimiento no abastece la cantidad de agua necesaria a la población la misma que carece de tratamiento para garantizar su calidad apta para el consumo humano.

Debido a la importancia que representa el servicio de agua potable, la gran mayoría de municipios han puesto énfasis en la ampliación y mejora de este servicio para todos los sectores alegados a las diferentes cabeceras cantonales, aportando en la mejora del nivel de vida de los habitantes.

La Ilustre Municipalidad del Catón Sígsig no es la excepción por lo que ha firmado un convenio con la Universidad del Azuay para realizar estudios de proyección, adecuación, ampliación y mejoramiento de sistemas de agua potable apta para el consumo humano, que aporten eficientemente a la solución de las necesidades a las que están expuestos estos lugares y así hacer frente al incremento de la población y contribuir con el bienestar de la misma.

### **Justificación**

Se conoce ampliamente la importancia y necesidad de contar con un servicio de agua potable de calidad, que mejore la calidad de vida de la población. En las comunidades como Nauchun, Chunucari La Unión ubicadas en sectores rurales, donde la mayoría de la población es gente de escasos recursos, al no contar con un abastecimiento de agua tratada se encuentran propensas a sufrir enfermedades, agudizando más la situación de vida de esta población. Es indispensable mejorar el sistema actual y ampliar el mismo para abastecer de manera continua y segura a todos los pobladores de la región.

### **Objetivo General**

Diseñar el Sistema de Agua Potable para la Comunidad de Nauchun, Chunucari La Unión de la Parroquia San Bartolomé, el mismo que estará constituido por: captación, conducción, planta de tratamiento y red de distribución.

### **Objetivos Específicos**

- Recolectar y levantar datos relevantes tanto de la comunidad como del entorno físico, tales como topografía, análisis de agua cruda, análisis de suelos, situación socio económica, información del sistema actual.
- Realizar un análisis y presentar alternativas de solución para la ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable.
- Realizar el diseño definitivo de ampliación y mejoramiento del sistema, el mismo que consta de captación, conducción, planta de tratamiento y red de distribución.
- Elaborar el presupuesto referencial del proyecto.

### **Metodología**

Se realizará el recorrido y análisis del sistema actual, luego de tener toda la información se hará una evaluación del mismo, posteriormente se continuará con el levantamiento topográfico que es compromiso de la Municipalidad del Cantón Sigsig que definirá el entorno de la instalación.

Después se procederá con la recopilación de información mediante encuestas, estudios de suelos para el lugar en donde será emplazada la nueva planta de tratamiento, el estudio de agua se realizará mediante toma de muestras en las captaciones, tanque de distribución y en la red de distribución que serán analizadas en laboratorio. Todos estos parámetros servirán para el rediseño del sistema, según la normativa vigente.

Para el rediseño del sistema, se utilizará softwares que agilicen el proceso. En cuanto a la modelación de la red de distribución se utilizará el programa EPANET. Para el análisis de precios unitarios se identificará los rubros y cantidades de obra del proyecto y utilizado el programa InterPro se obtendrá el precio total de la obra. Finalmente se procederá a la elaboración del documento estructurado junto con las conclusiones y recomendaciones para entregar a la Municipalidad de Sigsig.

## CAPITULO 1

### LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACION LINEA BASE

#### 1.1 Recopilación de información cartográfica

##### 1.1.1 Ubicación

Las Comunidades, Nauchun y Chunucari La Unión, pertenecen a la Parroquia San Bartolomé del Cantón Sígsig, Provincia del Azuay; cuyas coordenadas geográficas son:

- Nauchum:
  - UTM Zona: 17M, Abscisa: 742121.70 m E y Norte: 9667331.49 m S
- Chunacari, la Unión:
  - UTM son Zona: 17 M, Abscisa 743364.09 m E y Norte: 9667285.76 m S

La Parroquia San Bartolomé, lugar en el cual se encuentran ubicadas las comunidades a estudiar tiene los siguientes límites:

- Al Norte: con el cantón Gualaceo, con sus parroquias Zhidmad y San Juan.
- Al Sur: con la parroquia Ludo.
- Al Este: con la parroquia Sígsig.
- Al Oeste: con el cantón Cuenca con las parroquias Santa Ana y Quingeo (GEOLIDERAR, 2015).

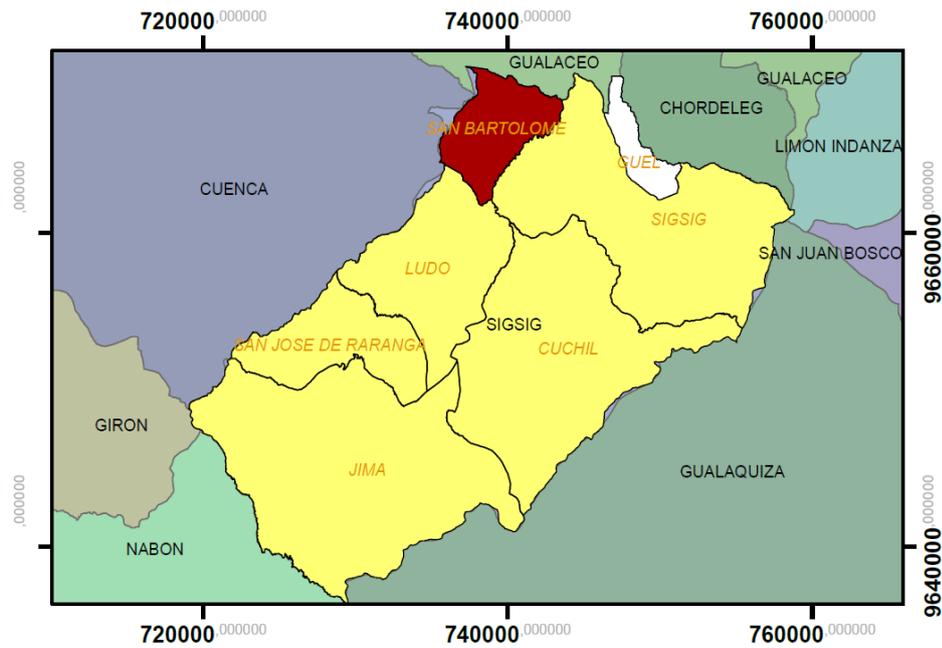


Figura 1.1 Límites de la Parroquia San Bartolomé

Fuente: (PDOT SAN BARTOLOMÉ, 2015)

### 1.1.2 Vías de acceso y comunicación

Existen varias opciones para llegar a las Comunidades asignadas para el proyecto de Agua Potable, en las cuales podemos recalcar las siguientes principales arterias viales como son:

- Vía principal Chordeleg - La Unión a una distancia de 12 km aproximadamente.
- Vía principal del Cantón Sigsig - La Unión a una distancia de 6.2 km aproximadamente.
- Vía principal de la Parroquia San Bartolomé - La Unión a una distancia de 9.5 km aproximadamente.

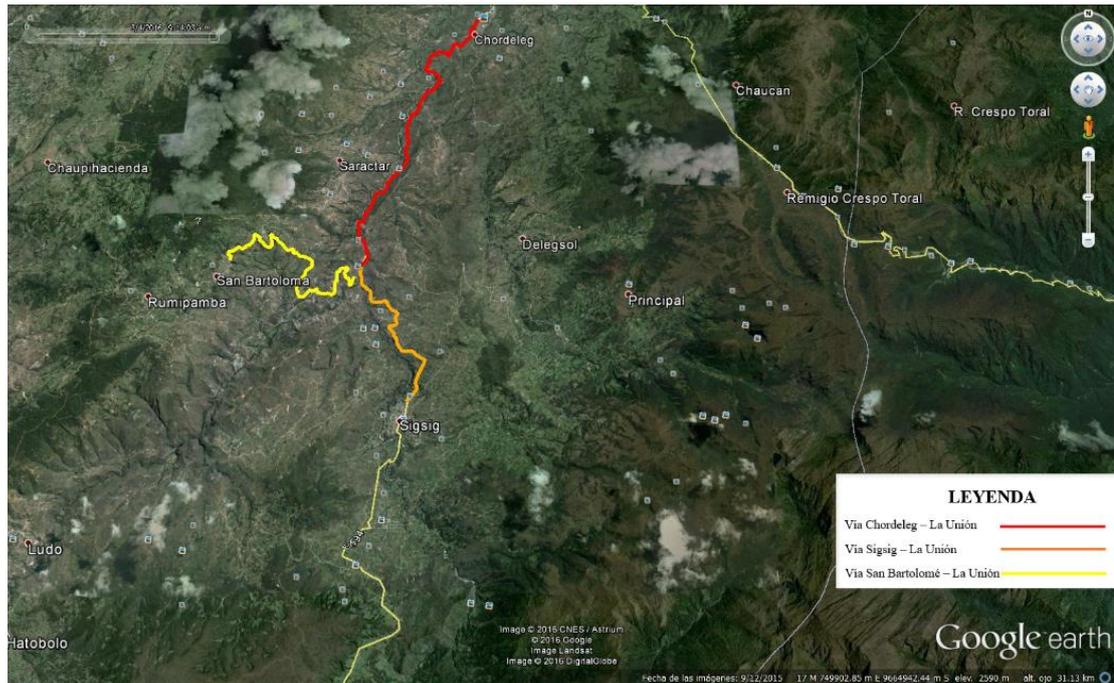
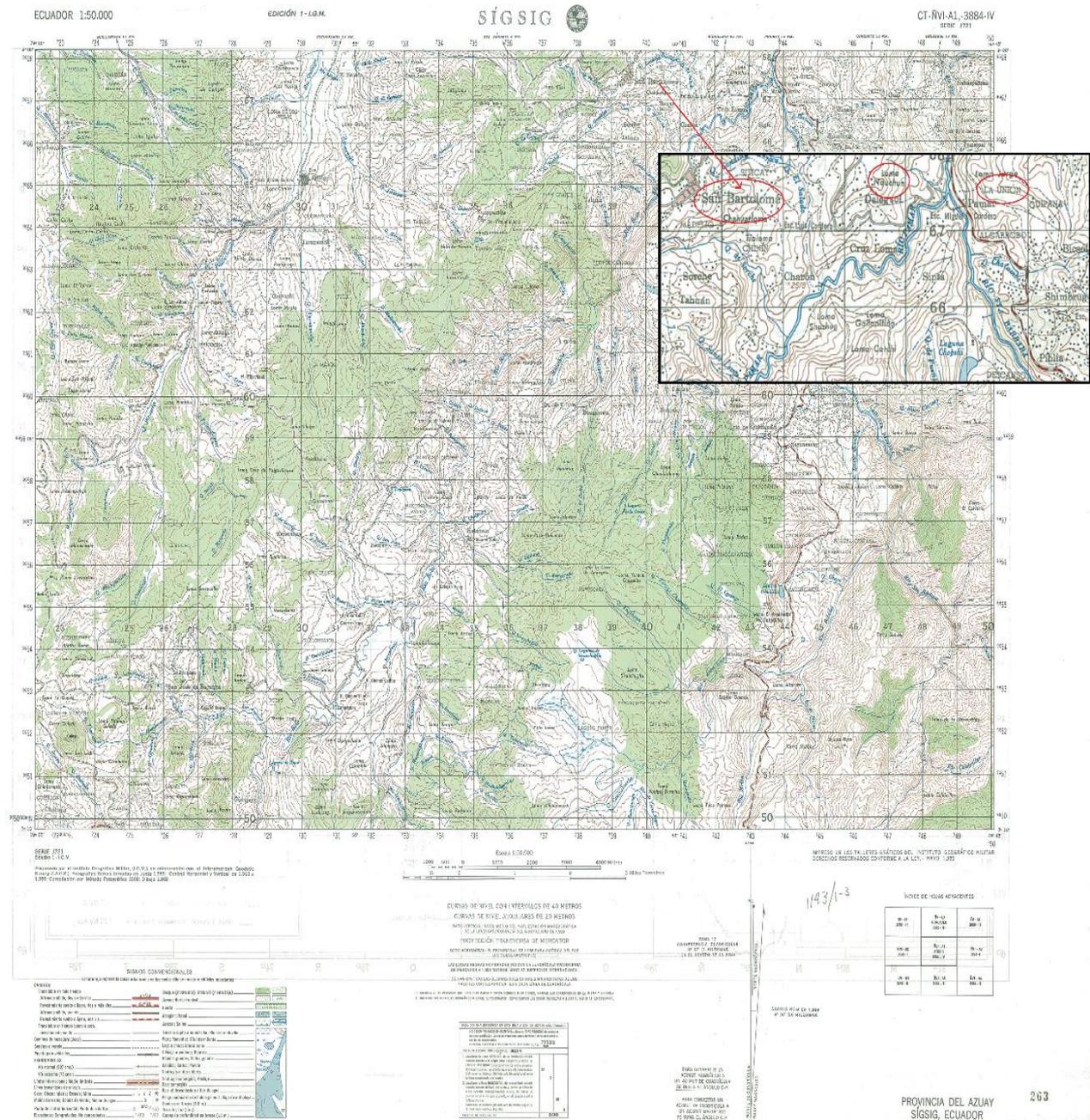


Figura 1.2 Vías de Acceso

Fuente: Google Earth Recuperado 04/03/2016

### 1.1.3 Base Cartográfica

Por medio de la Base Cartográfica del cantón Sígsig se puede visualizar en el sector en el cual se encuentran emplazadas las comunidades destinadas para la mejora y ampliación del sistema de agua. La cartográfica se obtuvo del INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR el cual concede la información de la Geografía Digital, la Base Nacional escala 1: 50 000.



### 1.1.4 Flora y Fauna

En lo que se refiere a la flora y fauna se describe de manera general las especies de mamífero que existen en el Cantón Sigsig, los mismos que se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 1.1 Fauna del Cantón Sígsig

Orden	Género	Especie	Nombre común
Perissodactyla	Tapirus	pinchaque	Danta
Marsupialia	Didelphis	marsupialis	Zorro
Marsupialia	Didelphis	albiventris	Zorro
Lagomorpha	Sylvilagus	brasiliensis	Conejo
Rodentia	Sciurus	granatensis	Ardilla
Rodentia	Coendon	bicolor	Guagur / Guagurro
Rodentia	Cavia	aperea	Cuy de monte
Carnívora	Dusicyon	culpaeus	Raposo / Lobo de páramo
Carnívora	Conepatus	chinga	Añas
Carnívora	Puma	concolor	Puma
Carnívora	Oncifeis	colocolo	Gato andino
Artiodactyla	Odocoileus	virginianus	Venado
Carnívora	Tremarctos	ornatus	Oso de Anteojos
Artiodactyla	Mazama	rufina	Yamala / Cervicabra

Fuente: (PDOT SAN BARTOLOMÉ, 2015)

Tabla 1.2 Diversidad de Aves del Cantón Sígsig

Orden	Género	Especie	Nombre común
Trochilidae	Amazilia	sp.	Quinde
Trochilidae	Lesbia	numa	Quinde
Trochilidae	Amazalea	amazalea	Quinde
Trochilidae	Patagona	gigas	Quinde
Corvidae	Cyanolyca	turcosa	
Tytonidae	Tyto	alba	Lechuza
Columbidae	Zenaida	auriculata	Tuga
Columbidae	Columbina	cruziana	Tuga
Columbidae	Columba	fasciata	Torcaza

Columbidae	Leptotila	verreauxi	Tuga
Tytonidae	Bubo	virginianus	Buho
Trochilidae	Colibri	corruscans	Quinde
Icteridos	Molothrus	onariensis	
Apodidae	Sttepoprocne	zonaris	Vencejo
Caprimulgidae	Caprimulgus	antoni	Chotacabras
Accipitridae	Leucopternis	occidentalis	Gavilan
Accipitridae	Geranoaetus	melanoleucus	Aguila
Cardinalidae	Pheucticus	chrysogaster	Chugo
Tyrannidae	Pyrocephalus	rubinus	Brujillo
Fringilidae	Zonotrichia	capensis	Gorrion
Turdidae	Turdus	chiguanco	Mirlo
Turdidae	Turdus	fuscater	Mirlo
Falconidae	Falco	sparverius	Quillillico
Colopasidae	Gallinago	jamesoni	Perdiz
Thraupidae	Anisognathus	igniventris	
Hirundinidae	Notiochelidon	murina	Golondrina
Hirundinidae	Notiochelidon	cuanoleuca	Golondrina
Psittacidae	Aratinga	eritrogenis	Loco colorado
Tyrannidae	Agriomis	montana	Solitaria
<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>
Tyrannidae	Tirano	melancolicus	
Tyrannidae	Myiozetetes	granadensis	

Fuente: (PDOT SAN BARTOLOMÉ, 2015)

Tabla 1.3 Reptiles y Anfibios del Cantón Sísgig

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>
Gimnophthalmidae	Pholidobolus	montium	Cuilan
Tropiduridae	Stenocercus	guentheri	Cuilampalo

Familia	Género	Especie	Nombre común
Amphignathodontidae	Gastroteca	pseustes	Sapo
Brachycephalidae	Eleutherodactylus	cryophilus	Sapo
Bufonidae	Atelopus	nepiozomus	Sapo
Centrolenidae	Centrolene	buckleyi	Sapo
Ceratophryidae	Telmatobius	niger	Sapo
Dendrobatidae	Colostethus	anthracinus	Sapo
Dendrobatidae	Colostethus	vertebralis	Sapo

Fuente: (PDOT SAN BARTOLOMÉ, 2015)

### 1.1.5 Hidrología

#### 1.1.5.1 Clima

El clima es de gran importancia para la programación y ejecución de proyectos; afecta de manera directa en el desarrollo de los trabajos de construcción de las estructuras. Uno de los aspectos de climatologías que se consideran de relevancia en el proyecto es la precipitación.

Para esto se ha tomado en cuenta un estudio realizado por el Instituto Espacial Ecuatoriano que elaboró el mapa de precipitación del cantón Sígsig, utilizando tres estaciones meteorológicas con datos de precipitación mensual como se describe a continuación:

- M424 SIGSIG INAMHI 728.37 mm
- M664 SIGSIG INECEL 557.70 mm
- M669 GIMA 673.04 mm

En la Parroquia de San Bartolomé a la cual pertenecen las comunidades del proyecto del sistema de agua potable, los resultados del mapa de isoyetas Figura 1.4, no presentan variaciones en sus niveles de precipitación ya que solo oscilan entre 700 – 800 mm de promedios anuales de precipitación.

Esto indica la falta de recurso hídrico que existe en la parroquia, sumado a las épocas estacionarias de lluvia y secas crece aún más el problema por la obtención del agua limitando la producción agrícola en el sector.

Existen dos rangos de precipitaciones, el primero se ubica en la zona baja de parroquia en donde se encuentra ubicada la comunidad de La Unión donde se presenta 700 mm de precipitación en promedios anuales. El segundo rango se ubica en la parte alta de la parroquia, presentando entre 700 – 800 mm de precipitación anual.

Se observa una problemática en el sector, relacionada con las bajas precipitaciones en las cercanías de los ríos Santa Bárbara y Bolo Pamar, en donde radica la dificultad de almacenar agua para las plantaciones. Este sector de la parroquia es de gran productividad, al tener pendientes idóneas para las actividades agrícolas, sin embargo, existe el limitante de la escasez de agua. Debido a la situación descrita, las siembras se realizan exclusivamente en épocas de lluvia, siendo los meses de enero, febrero y marzo los que registran mayores precipitaciones (GEOLIDERAR, 2015).



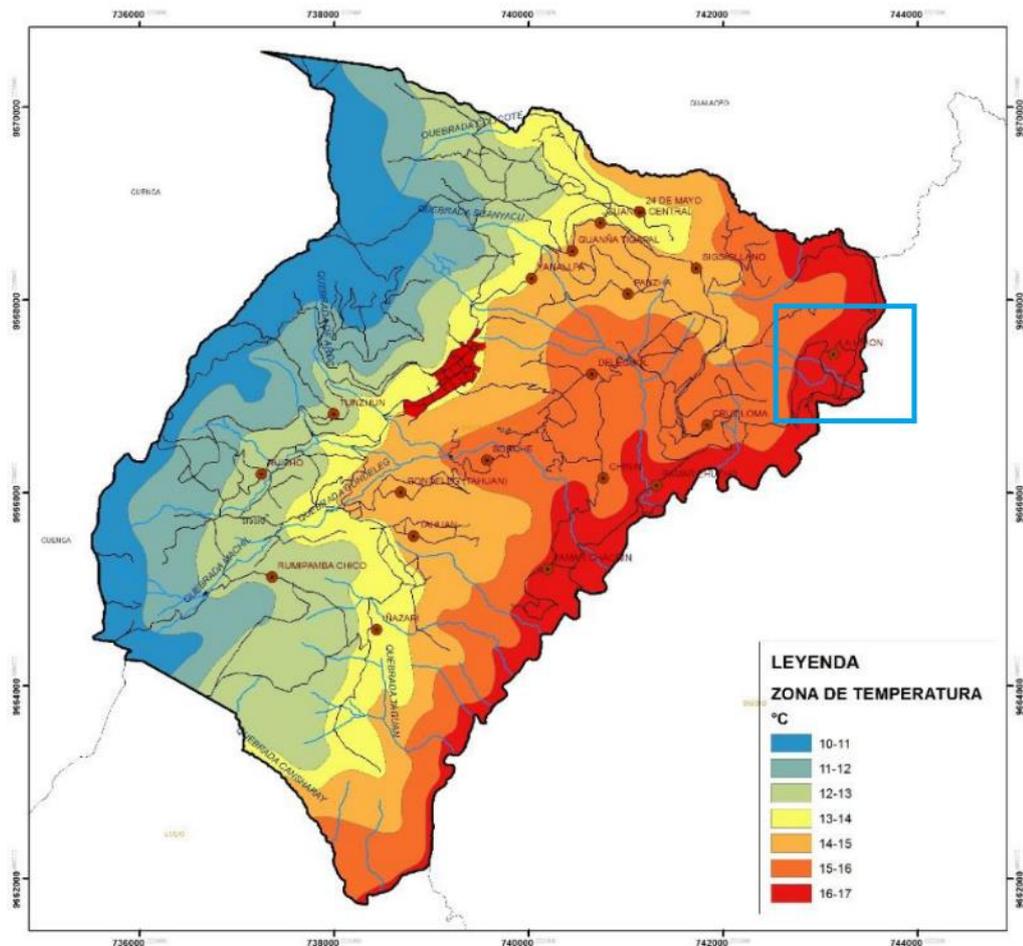


Figura 1.5 Temperatura en la Parroquia San Bartolomé

Fuente: (PDOT SAN BARTOLOMÉ, 2015)

## 1.2 Topografía

Para el levantamiento topográfico primeramente se realizó el recorrido de todo el sistema, ubicando cada una de las captaciones, más una que se sugirió para poder abastecer la demanda que existe en las comunidades, se estableció en donde se va a emplazar la planta de tratamiento conjuntamente con el tanque de almacenamiento, se delimito puntos importantes para sectorizar la conducción y el sistema de distribución del agua. La topografía es compromiso del GAD SIGSIG, para este trabajo se empleó el siguiente equipo:

- Estación total TRIMBLE S3 ROBÓTICA

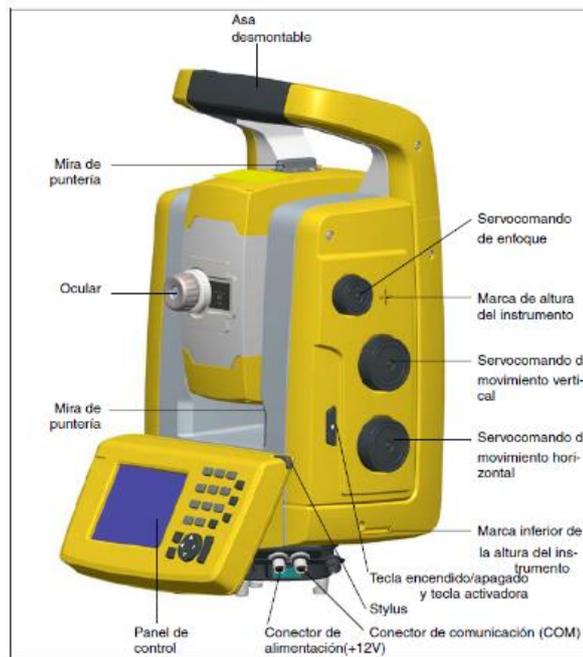


Figura 1.6 Estación Total Trimble S3  
Fuente: (Guía del Usuario Estación Total Trimble S3,2010)

- Equipo GPS LEICA Receptor GS05



Figura 1.7 GPS

### 1.3 Análisis de Suelos

#### 1.3.1 Generalidades

“La cimentación es la parte de la estructura que permite la trasmisión de las cargas que actúan hacia el suelo o roca subyacente” (Romo, 2008) . El suelo al recibir cargas tiende a comprimirse provocando asentamientos diferenciales y absolutos, estos deben ser controlados conociendo la resistencia del suelo en el diseño (Romo, 2008).

Se considera al suelo como un material heterogéneo, en los diseños se emplean coeficientes de seguridad mayores a 3, debido a la gran variación de suelos existentes se debe considerar realizar distintos tipos de cimentación, para garantizar el correcto funcionamiento de la estructura (Romo, 2008). Para la cimentación de la Planta de tratamiento de Agua Potable se realizó el Estudio de Suelos para obtener la capacidad soportante del mismo.

#### 1.3.2 Ubicación y Acceso

La planta de tratamiento se ubicará en la comunidad de Nauchun, al noreste tomando como referencia el centro cantonal de Sígüsig, la ruta principal que conduce al sitio del proyecto es por la vía La Puente La Unión-San Bartolomé a 4.7km aproximadamente desde el Puente se accede por un camino carrosable en tierra ubicado a lado derecho de la vía principal, en una distancia de 300m y de allí a pie 150m (Ordoñez, 2016).

Tabla 1.4 Ubicación del Proyecto

<b>CONFIGURACION DEL SISTEMA DE COORDENADAS</b>		
<b>SISTEMA: UTM</b>	<b>DATUM: WGS84</b>	<b>ZONA. 17</b>
<b>Vértice N°</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
<b>V1</b>	742045	9667618
<b>V2</b>	742105	9667618
<b>V3</b>	742045	9667563
<b>V4</b>	742105	9667563

Fuente: (Informe del Estudio de Suelos,2016)

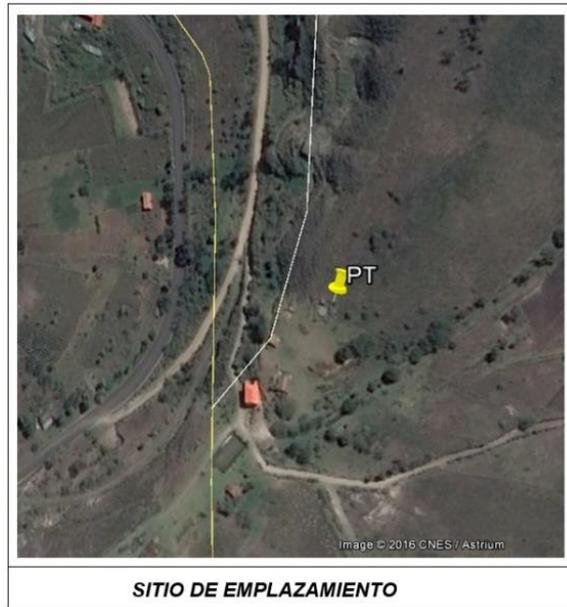


Figura 1.8 Lugar de Emplazamiento de la Planta de Tratamiento

Fuente: (Informe del Estudio de Suelos, 2016)

### 1.3.3 Geología Local

El proyecto de planta de tratamiento en toda su extensión se encuentra dentro de la Formación Tarqui  $P_T$  de origen volcánico a finales del terciario. La Formación se encuentra en contacto discordante con los Esquistos del Pan perteneciente a la Serie Metamórfica de Paute  $PMZP_v$  (Ordoñez, 2016).

### 1.3.4 Geología Estructural

En la zona de estudio, las estructuras geológicas se encuentran cubiertas por los materiales volcánicos, no se aprecia ninguna estructura importante que tenga incidencia en el proyecto (Ordoñez, 2016).

### 1.3.5 Parámetros de resistencia y deformación del suelo

Para la determinación de los parámetros geomecánicos de los suelos presentes en el área del proyecto, se utilizó correlaciones del número SPT, mismo que constituye uno de los parámetros más importantes y difundidos en el campo de la geotecnia, fundamentalmente por la sencillez de la ejecución del ensayo para su determinación, y su utilidad radica en la posibilidad como se mencionó anteriormente de correlacionar

el valor  $N$  con parámetros geotécnicos del suelo es decir, el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) y la Cohesión ( $c$ ) (Ordoñez, 2016).

Para materiales friccionantes se utilizará la correlación empírica propuesta por Ohsaki (1959) que relaciona el valor  $N_{SPT}$  con el ángulo de fricción.

$$\phi = \sqrt{20 * N} + 15$$

Donde:

$\phi$  = ángulo de fricción interna del suelo.

$N$  = Número de golpes por cada 30 cm de penetración del ensayo de SPT.

$N_{60}$  = Número de golpes SPT que corresponde al 60% de energía de penetración

$$N_{corr} = C_N N_{60}$$

### **Liao Whitman**

$$C_N = \sqrt{\frac{1}{\sigma_0}} \quad \sigma_0 = \text{esfuerzo a la profundidad del ensayo}$$

Bajo el supuesto que ocurra una falla por corte localizado o punzonamiento, la capacidad de carga se determinará utilizando parámetros de resistencia al corte reducidos definidos por la siguiente expresión.

$$\tan(\phi^*) = 0.67 \tan(\phi)$$

Donde:

$\phi$  = ángulo de fricción interna del suelo.

$\phi^*$  = Ángulo de fricción interna del suelo reducido para corte por punzonamiento

Los módulos de elasticidad, fueron calculados mediante las siguientes expresiones:

Arenas Arcillosas  $E_s=5(N_{SPT}+5)$  Kg/cm<sup>2</sup>

Limos y Arcillas  $E_s=60+1.5N_{SPT}$

### 1.3.6 Características de los suelos Encontrados

El suelo de fundación en los sectores investigados, se encuentra constituido por suelos con características friccionantes mayoritariamente gruesos de baja compresibilidad y compacidades que varía de densa a muy densa, siempre mejorando conforme se profundiza en el estrato. De acuerdo al sistema de clasificación Unificado SUCS, los suelos encontrados se catalogan como **GM**, es decir **gravas arena limosas**. (Ordoñez, 2016).

No se ha podido determinar nivel freático hasta la profundidad donde se alcanzó el rechazo del sondeo. Los resúmenes de los resultados del sondeo se encuentran en el Anexo 3. La ubicación del mismo, en coordenadas UTM (datum WGS 84 ZONA 17) se presenta a continuación (Ordoñez, 2016):

Tabla 1.5 Ubicación Geográfica de los Sondeos

SONDEO No.	COORDENADAS		ALTURA msnm
	E(17H)	N(UTH)	
1	742076	9667591	2669

Fuente: (Informe del Estudio de Suelos, 2016)

Tabla 1.6 Parámetros geotécnicos encontrados

PROFUNDIDAD (m)	$\phi^\circ$	$\gamma$ húmedo (Kn/m <sup>3</sup> )	E (Kg/cm <sup>2</sup> )
1.50	39.00	16.00	120.00
2.50	47.00	17.00	212.50
3.50	50.00	18.00	245.00

Fuente: (Informe del Estudio de Suelos, 2016)

Para el cálculo de la capacidad de carga admisible  $q_{adm.}$ , se utilizó el criterio dado por Terzaghi y Peck para falla general considerando los factores utilizados por VESIC para plintos aislados o cimentación directa, con un factor de seguridad de 3. (Ordoñez, 2016).

$$Q_u = cN_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + 0.5\gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

Donde:

**C:** Cohesión a la profundidad de cimentación (valores reducidos)

**q:** esfuerzo efectivo al fondo de la cimentación

**g:** peso específico del suelo

**B:** ancho de la cimentación

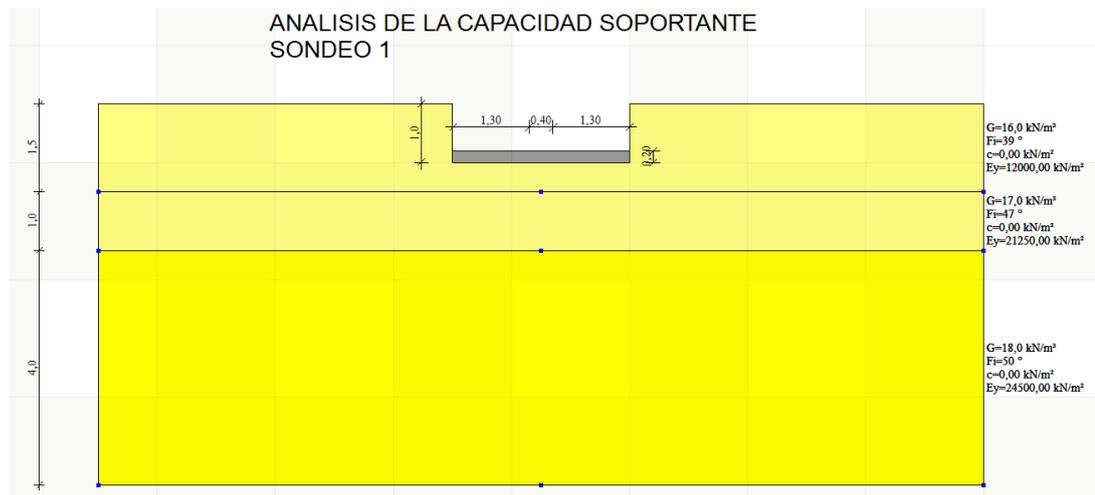


Figura 1.9 Sondeos

Fuente: (Informe del Estudio de Suelos, 2016)



Figura 1.10 Sondeos No.1

Fuente: (Informe del Estudio de Suelos, 2016)



MUESTRA PROFUNDIDAD 1.50M

Figura 1.11 Muestra de Suelo

Fuente: (Informe del Estudio de Suelos,2016)

Para obtener la Capacidad Admisible por limitación de Asentamientos:

### Criterio de Terzaghi y Peck

Tabla 1.7 Asentamientos

PROFUNDIDAD (m)	Asentamiento al centro del plinto mm		
	B=1m	B=2m	B=3m
1.00	5.08	19.44	34.78

Fuente: (Informe del Estudio de Suelos, 2016)

### 1.3.7 Aspectos Geológicos

La secuencia lito estratigráfica del área donde se desarrolla el proyecto corresponde a depósitos de edad terciaria constituido por rocas origen volcánico constituídas por una serie de piroclastos y aglomerados de composición riolítica a andesítica. Localmente se presenta tobas y ceniza volcánica caolinizada por presencia de fenómenos hidrotermales. Se encuentra cubierto por una pequeña capa vegetal 0.30m de espesor (Ordoñez, 2016).

En cuanto a la morfología, el proyecto se desarrolla entre las cotas 2630 msnm hasta la cota 2650 msnm. La topografía es variable, mayoritariamente presenta pendientes de 50% al 70% catalogadas como muy escarpadas (Ordoñez, 2016).

En lo que se refiere a estructuras geológicas que afectan a las rocas, las principales en

la zona de estudio, son fracturas y tienen foliaciones, pertenecientes al Grupo Paute, pero las mismas no son visibles por la cobertura volcánica.

### 1.3.8 Aspectos Geotécnicos

La capacidad soportante en el área de estudio varía de un lugar a otro y con la profundidad a cimentar a continuación se indica los valores recomendados para el diseño de la cimentación de la planta de tratamiento, por ser suelo friccionante la capacidad soportante se encuentra en función del ancho del plinto y de la profundidad a cimentar. Tabla 1.8:

Tabla 1.8 Capacidad Admisible por ancho de Plinto

PROFUNDIDAD (m)	Q adm. Por ancho de plinto Kn/m <sup>2</sup>		
	B=1m	B=2m	B=3m
1.00	179.51	157.40	156.84

Fuente: (Informe del Estudio de Suelos, 2016)

La construcción que se ejecute, deberá cimentarse a una profundidad mínima de 1.00m con respecto al nivel actual del terreno. Se recomienda una cimentación directa a base de plintos, arriostrados en sus dos direcciones ortogonales mediante vigas de hormigón armado ubicados por debajo del nivel de contrapisos (Ordoñez, 2016).

Para la construcción de contrapisos, será necesario realizar un reemplazo del material de subrasante por otro de reposición tipo subbase compactado al 95% del ensayo AASHO T 180-D, en un espesor no menor de 0,30m. Las losas de contrapiso serán de hormigón armado (Ordoñez, 2016).

Los resultados del Estudio de suelos se encuentran en el Anexo 3.

#### 1.4 Abastecimiento actual del agua y análisis de fuente

En la actualidad las comunidades de Nauchun, Chunucari La Unión de la Parroquia San Bartolomé cuentan con un sistema de agua potable deficiente, el mismo que no cuenta con ninguna clase de tratamiento y no abastece a la población existente de manera continua. Este sistema nace desde las lomas de Jarupa en donde se encuentran ubicadas tres captaciones de zonas pantanosas, las cuales son afectadas por la presencia de ganado vacuno y caballar, careciendo de un cerramiento para proteger las fuentes.



Figura 1.12 Captaciones

Tabla 1.9 Localización de Captaciones

Captación	Coordenadas UTM		Zona	Altitud (msnm)
	Norte	Abscisa		
1	9668767.00 m S	738439.00 m E	17 M	3194
2	9668956.00 m S	738461.00 m E	17 M	3178
3	9668911.00 m S	738365.00 m E	17 M	3202
Jarupa	9668925.00 m S	738518.00 m E	17 M	3153
Sugerida	9668959.00 m S	738597.00 m E	17 M	3153

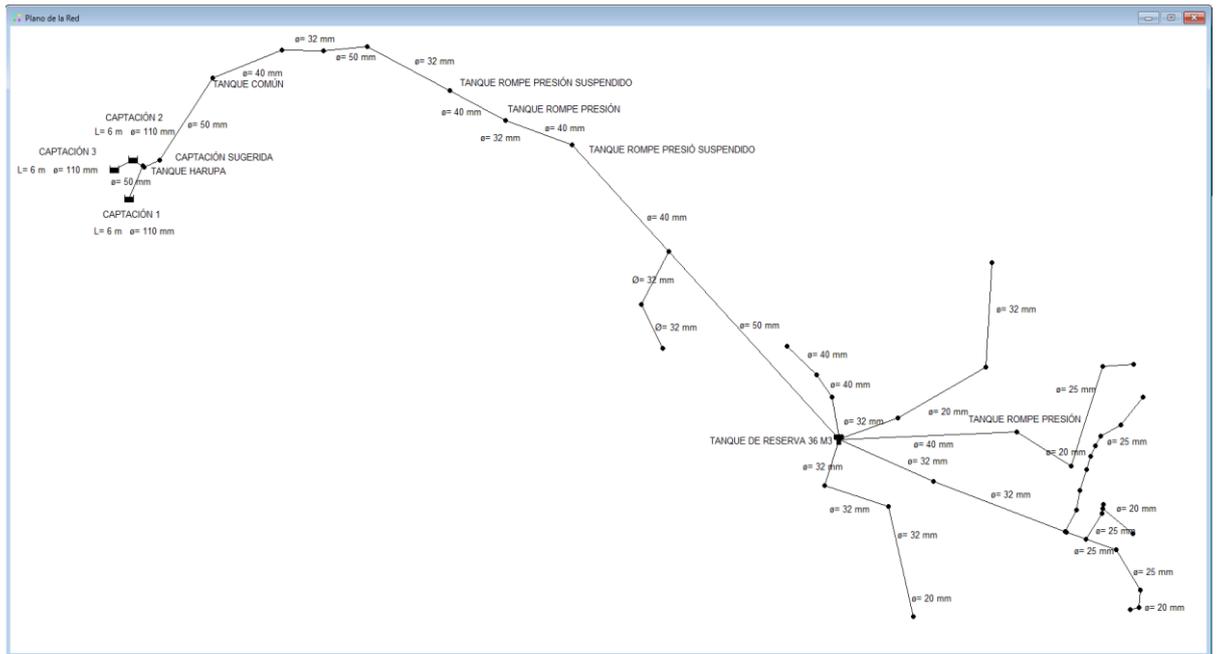


Figura 1.13 Esquema Actual del Proyecto elaborado en EPANET

Las estructuras de la captación son de hormigón armado presentan un estado aceptable, figura 1.14. El agua desde las captaciones por medio de una tubería de 50 mm se dirige hacia un tanque común en donde también se encuentra instalada otra tubería proveniente de otro sistema aledaño aportado así agua al sistema figura 1.15.



Figura 1.14 Captaciones Tanques



Figura 1.15 Tanque Común

En el transcurso de la conducción se encuentran tanques rompe presión, dos de estos han sido deshabilitados y solo 3 se mantienen en servicio, se ha constatado que los accesorios que forman parte del funcionamiento de los mismos están en mal estado, la conducción llega hasta una caseta de cloración deshabilitada en donde por medio de una tubería de 50 mm pasa al tanque de reserva de ferro cemento que no cuenta con aireación, escalera de acceso y presenta filtraciones pequeñas; de donde se distribuye en varios ramales para abastecer a la población.

Tabla 1.10 Tanque Existente

TANQUE	RADIO (M)	ALTURA UTIL (M)	VOLUMEN (M3)	COTA DE SALIDA	PUNTO MAS ALTO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN	PUNTO MAS BAJO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN
1	2.55	1.47	36	2680	2673	2293



Figura 1.16 Tanque de Reserva



Figura 1.17 Caseta de Cloración deshabilitada

Desde el tanque de reserva nacen ramales hacia la población, por medio de una tubería de  $\varnothing=50$  mm hacia Nauchun y Sipta en donde brinda servicio a 15 familias; de igual manera por medio de una tubería de  $\varnothing=50$  mm hacia la comunidad de Chununcari la Unión, Pamar en donde brinda servicio a 55 familias, cabe recalcar que desde este mismo ramal nace otro que abastece a la población de Moraspugro en donde se encuentran localizadas 5 familias, para abastecer a 2 familias que se encuentran al otro lado del río Santa Barbara la tubería pasa anclada al puente y también pasa por medio de cables hacia una vivienda ubicada en una colina a 2357 msnm, así es el sistema de agua en la actualidad para abastecer a ese sector.

Se pudo apreciar que, para la conducción y distribución se utilizó una gran variedad de diámetros ya que algunos tramos de tubería en la conducción son de 50 mm, 40 mm 32 mm y 20 mm, esto se debe a que este sistema había sido construido con restos de tuberías de otros proyectos; con los análisis de agua realizados se pudo constatar que los parámetros físicos (color) del agua aumentan a medida que el agua es transportada por medio de las tuberías a las domiciliarias; esto se debe a la falta de mantenimiento del sistema. En lo que tiene que ver con las presiones se pudo verificar por medio de un manómetro figura 1.18, que no cumplían con las que recomienda la norma; actualmente varían desde 14 m.c.a hasta los 141 m.c.a, esto provoca daños en las tuberías ya que algunas de estas no soportan esta presión y fracasan.



Figura 1.18 Toma de Presiones con un Manómetro

Para el Análisis de las Fuentes de Agua se tomó siete muestras en todo el proyecto, cada muestra conformada por una poma de 2 litros para el análisis físico- químico y 2 envases esterilizados de 150 ml para el análisis bacteriológico, los mismos que fueron entregados para su respectivo análisis al Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Cuenca, con el propósito de determinar el estado del agua que la población consume en la actualidad, y así poder dar un tratamiento adecuado para mejorar su calidad.



Figura 1.19 Toma de Muestras en las Captaciones



Figura 1.20 Toma de Muestras en el Tanque

Tabla 1.11 Descripción de Muestras tomadas en el Sistema

UBICACIÓN	MUESTRAS		CLIMA	CLIMA
	FÍSICO-QUÍMICO	BACTEREOLÓGICO	DÍA ANTES DE LA TOMA DE MUESTRAS	DÍA DE LA TOMA DE MUESTRAS
Captación 1	1	2	Soleado	Nublado
Captación 3	1	2	Soleado	Nublado
Tanque Harupa	1	2	Soleado	Nublado
Quebrada (Captación Sugerida)	1	2	Soleado	Nublado
Tanque Común (Tubería 1) Aporte de la Comunidad de Singapur	1	2	Soleado	Nublado
	1	2	Soleado	Nublado
	1	2	Soleado	Nublado
Tanque Común (Tubería 2)	1	2	Soleado	Nublado
	1	2	Soleado	Nublado
Captación 1 + Captación 2 + Captación 3 + Quebrada	1	2	Soleado	Nublado
Inicio de la Distribución (Tanque Rompe Presiones)	1	2	Soleado	Nublado
	1	2	Soleado	Nublado
Fin de la Distribución (Escuela)	1	2	Soleado	Nublado
	1	2	Soleado	Nublado

La norma INEN 1 108, establece los requisitos que debe tener el agua para ser apta para el consumo humano (potable).

Tabla 1.12 Parámetros Físicos, Inorgánicos y Microbiológicos

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
<b>Características físicas</b>		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
<b>Características Inorgánicos</b>		
Manganeso (Mn)	mg/l	0.1
Hierro (Fe)	mg/l	0.3
<b>Características Microbiológicos</b>		
Coliformes fecales (1):		
Tubos múltiples NMP/100 ml ó		< 1,1 *
Filtración por membrana UFC/ 100 ml		< 1 **
Cryptosporidium, número de ooquistes/100 litros		Ausencia
Giardia, número de quistes/100 litros		Ausencia
* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm <sup>3</sup> ó 10 tubos de 10 cm <sup>3</sup> ninguno es positivo		
** < 1 significa que no se observan colonias		
(1) ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida		

Los resultados obtenidos en el Laboratorio de los análisis físicos- químico y bacteriológicos en época de invierno y verano se especifican en el Anexo 4.

### 1.5 Distribución de la población, características socioeconómicas.

Se realizó encuestas a los pobladores de las comunidades asignadas al proyecto de ampliación y mejora de del sistema de agua potable para recopilar la información necesaria que nos ayude a determinar las características socioeconómicas de la población.



Figura 1.21 Encuestas



Figura 1.22 Encuestas.

Mediante la encuesta que se aplicó a representantes de cada hogar de las comunidades Nauchun y Chununcari La Unión existen 387 habitantes incluidos las personas que serán parte de la ampliación del Sistema de Agua Potable, los cuales se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

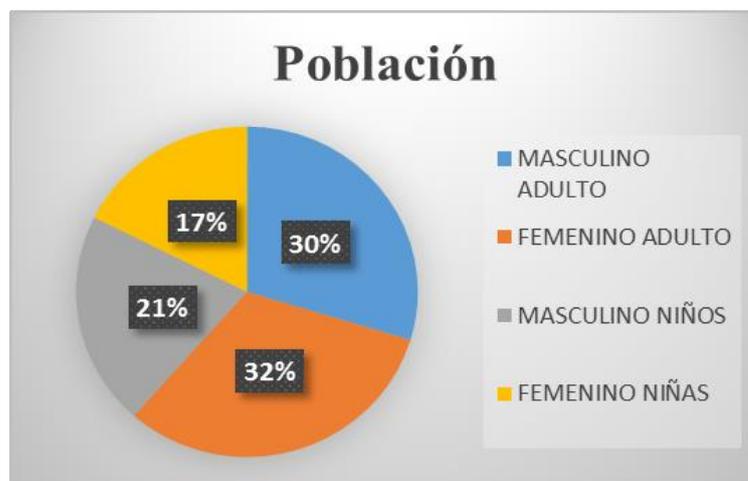


Figura 1.23 Distribución de la Población  
Fuente: (Encuesta Socioeconómica, 2016)

Siendo el 30% Adultos Masculinos, 32%, Adultos Femeninos, 21% Niños y 17% Niñas.

Existen 72 socios del sistema actual, pero con la ampliación del mismo se sumarán 26 nuevos socios, que manifestaron por medio de las encuestas que se realizó que estarán dispuestos a pagar por el servicio de agua potable.

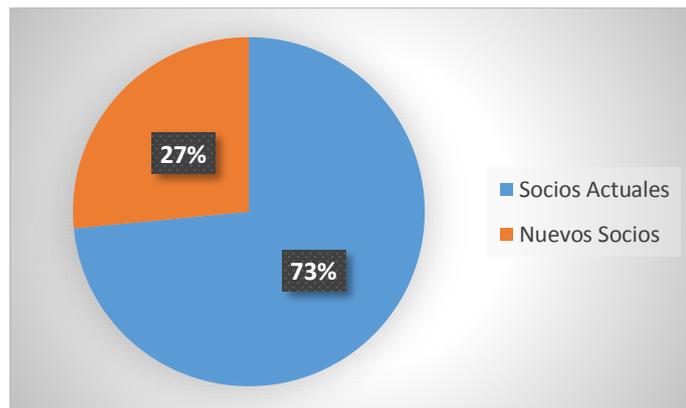


Figura 1.24 Población

Fuente: (Encuesta Socioeconómica, 2016)

Los actuales socios dieron su opinión sobre el abastecimiento de agua que reciben en la actualidad teniendo como resultado lo siguiente. Sistema totalmente malo con un 80 %, regular un 20 % y bueno 0 %.

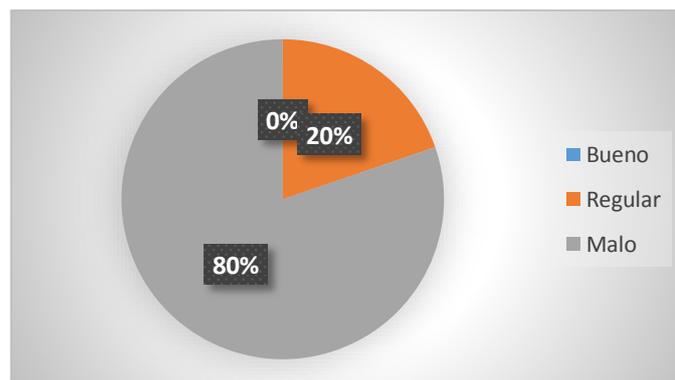


Figura 1.25 Calificación del Sistema Actual de Agua

Fuente: (Encuesta Socioeconómica, 2016)

### 1.5.1 Tipo de Agua en la Actualidad

Las comunidades de Nauchun, Chunucari la Unión, en la actualidad cuentan con un abastecimiento de agua entubada el 73 % de la población, mientras tanto el resto consume agua proveniente de otros lugares (agua lluvia, rio cercano, etc).

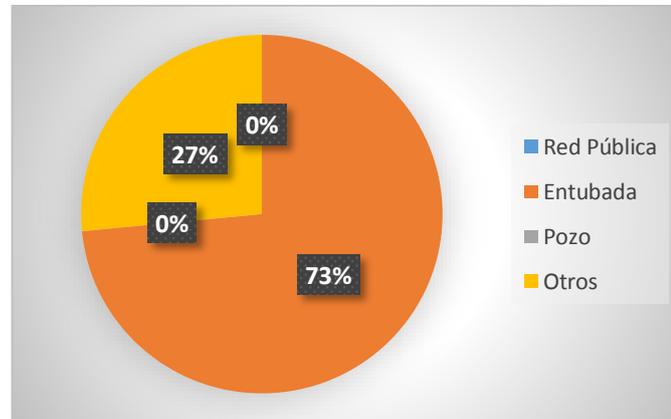


Figura 1.26 Agua Lluvia

Fuente: (Encuesta Socioeconómica, 2016)

### 1.5.2 Medidores

El estado en el que se encuentran los medidores es bueno siendo este un porcentaje de 63 %. Un aspecto importante de recalcar es la variabilidad de marcas que se presenta en los medidores, también existe algunos que se encuentran en malas condiciones y necesitan ser remplazados. El 30 % de las viviendas y locales no cuentan con medidor, como es el caso de la Casa Comunal que carece de medidor y solo cuenta con una conexión directa.



Figura 1.27 Medidor



Figura 1.28 Conexión Directa

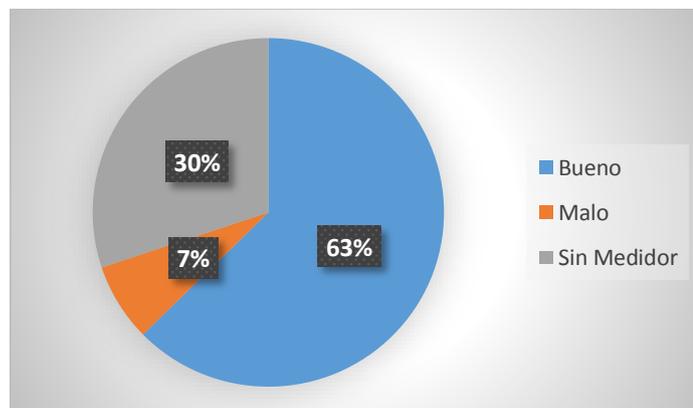


Figura 1.29 Agua Lluvia

Fuente: (Encuesta Socioeconómica, 2016)

### 1.5.3 Situación Ocupacional

Al realizar el recorrido por las Comunidades designadas para el proyecto del Sistema de Agua Potable se pudo constatar las actividades a las que se dedica la población para obtener su sustento diario, siendo algunas de estas:

- Agricultura, los principales productos que se cultivan son el maíz, frejol y papas en la Comunidad la Unión, mientras que en Nauchun se dedican al cultivo de duraznos, mora, tomate de árbol, manzanas, maíz y papas; mientras que hortalizas se cultivan a menor escala en huertos familiares (GEOLIDERAR, 2015).

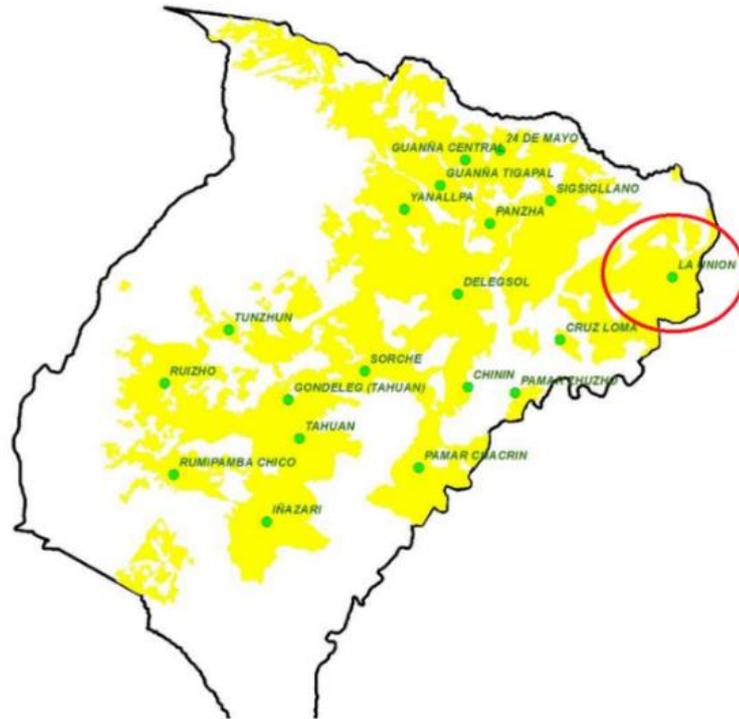


Figura 1.30 Cultivos de la Parroquia San Bartolomé  
Fuente: (PDOT SAN BARTOLOMÉ, 2015)

- Ganadería, de manera principal el ganado vacuno, utilizado para producción y comercialización de leche y complementan con la compra y venta de ganado.
- Sombreros de Paja Toquilla, artesanos y artesanas que se dedican a la elaboración de estos elementos que complementan el vestuario diario de sus habitantes, los mismos que son comercializados dentro y fuera de la Provincia.
- Carpintería, artesanos y artesanas que se dedican a la elaboración de todo tipo de muebles para el hogar.

De los resultados obtenidos en la encuesta se concluye, el 32% tiene un tipo de trabajo permanente, mientras que el 68% tiene un trabajo eventual:

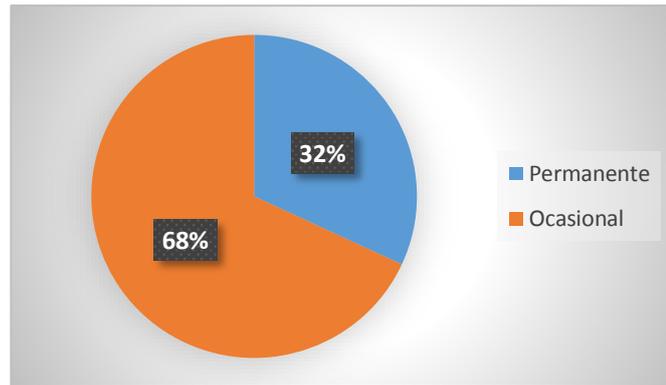


Figura 1.31 Tipo de Trabajo  
Fuente: (Encuesta Socioeconómica, 2016)

En lo que se refiere a los ingresos, la gran mayoría de personas obtienen su sustento en la semana predominando con un 37 % realizando actividades de construcción y artesanías, mientras que un 34% de población se dedica a otro tipo de trabajo como agricultura y ganadería, y un ingreso quincenal y mensual con trabajos fijos con porcentajes bajos, 12% y 17 % respectivamente.

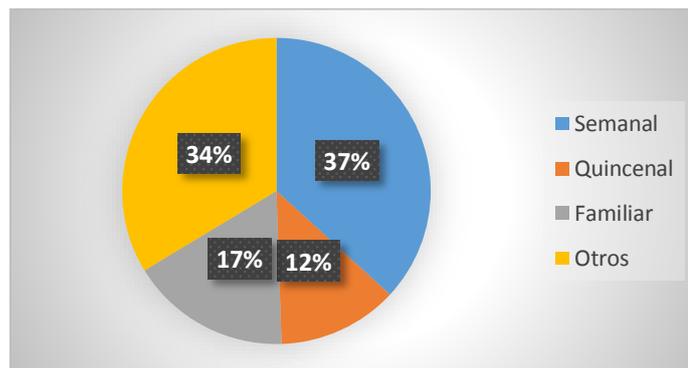


Figura 1.32 Ingresos Económicos  
Fuente: (Encuesta Socioeconómica, 2016)

### 1.5.5 Enfermedades y Salud

Los pobladores de las comunidades de Nauchum, Chunucari la Unión, tienen que trasladarse hacia San Bartolomé o al Sígsig para acudir a un Centro de Salud, ya que no se cuenta con un local de estos en el sector.

Debido a que existe falta de sanidad, presenciándose una escasa infraestructura sanitaria y la mala calidad de agua a la población son muy frecuentes que se presentes las siguientes enfermedades en la población, predominando con un 36% enfermedades de tipo estomacal, siguiéndole de la piel con un 32% ya que población manifestó sufrir

de alergias, estas pueden ser provocadas por utilizar el agua en esas condiciones sin recibir ningún tipo de tratamiento.

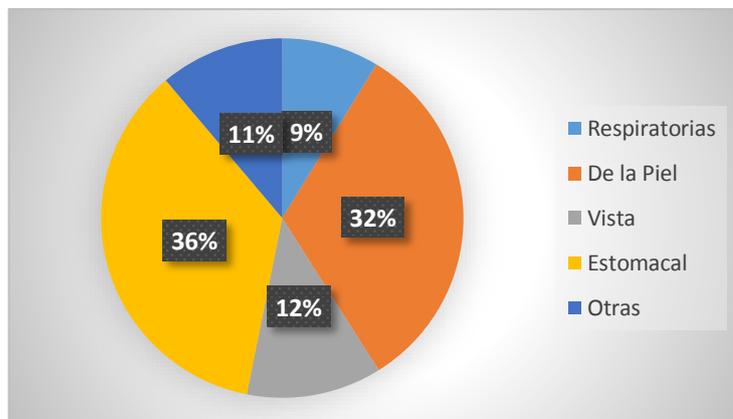


Figura 1.33 Enfermedades.

Fuente: (Encuesta Socioeconómica, 2016)

El resto de datos obtenidos en las encuestas, se encuentran especificados detalladamente en el Anexo 1 y 2.

### 1.6 Revisión de la normativa a utilizar.

Para el proyecto de Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable de la Comunidad de Nauchun, Chununcari La Unión de la Parroquia san Bartolomé del Cantón Sígsig se utilizarán las normativas:

- CÓDIGO ECUATORIANO PARA EL DISEÑO DE LA CONSTRUCCION DE OBRAS SANITARIAS, NORMA CO 10.7-602 SISTEMAS DE ABASTECIMINETO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LIQUIDOS EN EL ÁREA RURAL (Revisión).
- CPE INEN 005-9-2 (1997) (Spanish): Código Ecuatoriano de la construcción. (C.E.C) diseño de instalaciones sanitarias: Código de practica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural.

- GUÍA PARA DISEÑO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE FILTRACIÓN EN MULTIPLES ETAPAS (Organización Panamericana de la Salud) (Cinara).
  
- GUÍA PARA EL DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION EN SISTEMAS RURALES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA (Organización Panamericana de la Salud).
  
- Filtración Lenta en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades (Cinara).
  
- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1 108 (Quinta Revisión).

## CAPITULO 2

### ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

#### 2.1 Parámetros de Diseño

El objetivo de un sistema de agua potable, es el dotar la cantidad necesaria de agua a la población, que tenga una presión suficiente y que cumpla los parámetros de calidad requeridos en las normas.

Para el sistema de Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable de la Comunidad de Nauchun, Chununcari La Unión de la Parroquia san Bartolomé se utilizará el CÓDIGO ECUATORIANO PARA EL DISEÑO DE LA CONSTRUCCION DE OBRAS SANITARIAS, NORMA CO 10.7-602 SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LIQUIDOS EN EL ÁREA RURAL, el cual nos proporciona un conjunto de especificaciones básicas adecuadas para diseñar sistemas de abastecimiento de agua.

##### 2.1.1 Definiciones

- **Período de diseño.** Lapso durante el cual la obra cumple su función satisfactoriamente sin necesidad de ampliaciones (NORMA CO 10.7-602).
- **Vida útil.** Lapso de tiempo, luego del cual la obra o equipo de ser reemplazado por obsoleto (NORMA CO 10.7-602).
- **Población futura.** Número de habitantes que se espera la final de diseño (NORMA CO 10.7-602).
- **Dotación media actual.** Cantidad de agua potable, consumida diariamente, en promedio, por cada habitante, al inicio de período de diseño. (NORMA CO 10.7-602).

- **Dotación media futura.** Cantidad de agua, consumida diariamente, en promedio por cada habitante, al final del período de diseño (NORMA CO 10.7-602).
- **Caudal medio anual.** Caudal de agua, incluyendo pérdidas por fugas, consumido en promedio, por la comunidad (NORMA CO 10.7-602).
- **Caudal máximo diario.** Caudal medio consumido por la comunidad en el día de máximo consumo (NORMA CO 10.7-602).
- **Caudal máximo horario.** Caudal de agua consumida por la comunidad durante la hora de máximo consumo en un día (NORMA CO 10.7-602).
- **Nivel de servicio.** Grado de factibilidad y comodidad con el que los usuarios acceden al servicio que les brindan los sistemas de abastecimiento de agua (NORMA CO 10.7-602).
- **Fugas.** Cantidad no registrada de agua, perdida por escape del sistema (NORMA CO 10.7-602).
- **Factor de mayoración máximo diario (KMD).** Es la relación entre caudal máximo diario al caudal medio (NORMA CO 10.7-602).
- **Factor de mayoración máximo horario (KMH).** Es la relación entre el caudal máximo horario al caudal medio (NORMA CO 10.7-602).
- **Periodo de Diseño.** Las obras de sistemas de abastecimiento de agua potable, se diseñarán para un período de 20 años (NORMA CO 10.7-602).

### 2.1.2 Cálculo de la población de diseño.

Para calcular la tasa de crecimiento poblacional se toma la base la tabla que proporciona la norma dependiendo la región geográfica en donde esté ubicado el proyecto, para nuestro caso el valor de  $r$  será del 1%, que corresponde a la región sierra.

Tabla 2.1 Tasa de Crecimiento Poblacional

REGIÓN GEOGRÁFICA	$r$ %
Sierra	1
Costa, Oriente y Galápagos	1.5

Fuente: (Norma CO 10.7 – 602)

La población de diseño se calculará en base a la población actual determinada mediante encuestas (NORMA CO 10.7-602). Obteniendo un total de 387 habitantes para 98 domiciliarias. Para el cálculo de la población futura se empleará el método geométrico que recomienda la norma CO 10.7 – 602:

➤ **Método Geométrico**

Se basa en la variación de la población con respecto al tiempo, depende del tamaño de la misma, produciéndose incrementos de manera análoga al interés compuesto (Rodríguez Ruiz, 2001).

(Ecuación 2.1)

$$Pf = Pa * (1 + r)^n$$

En donde:

**Pf:** Población futura (habitantes)

**Pa:** Población actual (habitantes)

**r:** Tasa de crecimiento geométrico como fracción decimal.

**n:** Período de diseño (años)

Para el cálculo se emplea una tasa de crecimiento del 1 % que es lo que recomienda la norma (Tabla 2.1), con este dato la población futura no sobrepasa el 1,25 de incremento de la población actual para un período de diseño de 20 años.

Cálculo:

Tabla 2.2 Método Geométrico

<b>METODO GEOMETRICO</b>		
<b>Pa</b>	387	<b>Población Actual</b>
<b>r</b>	1	<b>%</b>
<b>n</b>	20	<b># años</b>
<b>Pf</b>	472	<b>Población Futura</b>

Fuente: (Norma CO 10.7 – 602)

Para definir el nivel de servicio la norma presenta la siguiente tabla:

Tabla 2.3 Niveles de Servicio para Sistemas de Abastecimiento de Agua, Disposición de Excretas y Residuos Sólidos

NIVEL	SISTEMA	DESCRIPCIÓN
0	AP EE	Sistemas individuales. Diseñar de acuerdo a las disponibilidades técnicas, usos previstos del agua, preferencias y capacidad económica del usuario.
Ia	AP EE	Grifos públicos Letrinas sin arrastre de agua
Ib	AP EE	Grifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño Letrinas sin arrastre de agua
II a	AP EE	Conexiones domiciliarias, con grifo por casa Letrinas con o sin arrastre de agua
II b	AP ERL	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa Sistema de alcantarillado sanitario
Simbología utilizada: AP: Agua potable EE: Eliminación de excretas ERL: Eliminación de residuos líquidos		

Fuente: (Norma CO 10.7 – 602)

De la Tabla 2.3 se escogió el Nivel II a, Sistema AP (Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa), EE (Letrinas con o sin arrastre de agua), esto se establece por observaciones realizadas en diferentes visitas a cada uno de los domicilios involucrados en el proyecto.

Para determinar las dotaciones la norma presenta la siguiente tabla:

Tabla 2.4 Dotaciones de Agua para los diferentes niveles de servicio

NIVEL DE SERVICIO	CLIMA FRIO (l/hab*día)	CLIMA CALIDO (l/hab*día)
Ia	25	30
Ib	50	65
II a	60	85
II b	75	100

Fuente: (Norma CO 10.7 – 602)

De la Tabla 2.5 se elige una dotación de 60 l/hab\*día, ya que las comunidades en donde está emplazado el proyecto cuenta con clima frío.

- **Fugas:** Para el cálculo de los diferentes caudales de diseño la norma nos brinda una tabla en la cual se presenta los porcentajes de fugas dependiendo el nivel de servicio.

Tabla 2.5 Porcentaje de Fugas a considerarse en el Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable

NIVEL DE SERVICIO	PORCENTAJES DE FUGAS
Ia y Ib	10%
II a y II b	20%

Fuente: (Norma CO 10.7 – 602)

Como el nivel de servicio escogido es el IIa, le corresponde un porcentaje de fugas del 20%.

### Cálculos:

**2.1.3 Caudal medio**, será calculado mediante la siguiente expresión:

(Ecuación 2.2)

$$Q_m = f * (P * D) / 86400$$

En donde:

**Q<sub>m</sub>:** Caudal medio (l/s)

**f:** Factor de fugas

**P:** Población al final del periodo de diseño (habitantes)

**D:** Dotación futura (l/hab x día)

Tabla 2.6 Cálculo Caudal Medio

CAUDAL DE DISEÑO (POBLACION FUTURA)		
CAUDAL MEDIO		
<b>f</b>	20	<b>Factor de Fugas %</b>
<b>P</b>	472	<b>Población al final del Período de Diseño</b>
<b>D</b>	60	<b>Dotación futura l/habxdía</b>
<b>Q<sub>m</sub></b>	0.393	<b>Caudal medio l/s</b>

**2.1.4 Caudal máximo diario**, se calculará mediante la siguiente expresión:

(Ecuación 2.3)

$$QMD = KMD * Qm$$

En donde:

**QMD:** Caudal máximo diario (l/s)

**KMD:** Factor de mayoración máximo diario

El factor de mayoración máximo diario (KMD) tiene un valor de 1,25 para todos los niveles de servicio (NORMA CO 10.7-602).

Tabla 2.7 Caudal Máximo Diario

CAUDAL MÁXIMO DIARIO		
<b>KMD</b>	1.25	<b>Factor de mayoración máximo diario</b>
<b>Qm</b>	0.393	<b>Caudal medio l/s</b>
<b>QMD</b>	0.491	<b>Caudal máximo diario l/s</b>

**2.1.5 Caudal máximo horario**, se calculará mediante la siguiente ecuación:

(Ecuación 2.4)

$$QMH = KMH * Qm$$

En donde:

**QMH:** Caudal máximo horario (l/s)

**KMH:** Factor de mayoración máximo horario

El factor de mayoración máximo horario (KMH) tiene un valor de 3 para todos los niveles de servicio (NORMA CO 10.7-602).

Tabla 2.8 Caudal Máximo Horario

CAUDAL MÁXIMO HORARIO		
<b>KMH</b>	3	<b>Factor de mayoración máximo horario</b>
<b>Qm</b>	0.393	<b>Caudal medio l/s</b>
<b>QMH</b>	1.179	<b>Caudal máximo horario l/s</b>

El Q unitario para cada domiciliaria se obtiene:

(Ecuación 2.5)

$$Q_{unitario} = \frac{QMH}{\# Domiciliarias}$$

Cálculo:

$$Q_{unitario} = \frac{1.179}{98} = 0.012 \frac{l}{s} \times casa$$

Para calcular los siguientes parámetros se emplea las condiciones según la norma CO 10.7 – 602.

**2.1.6 Almacenamiento:** Su capacidad será el 50% del volumen medio diario futuro, pero en ningún caso el volumen será inferior a 10 m<sup>3</sup>. Según la norma (INEN, 1992) en el numeral 4.1.7.2 para poblaciones ubicadas en la sierra menores a 5000 habitantes futuros no se requiere almacenamiento contra incendios.

Volumen de almacenamiento (tanque de reserva):

(Ecuación 2.6)

$$V = 0.5 * Qm \text{ m}^3/\text{dia}$$

Cálculo:

$$V = 0.5 * 0.393 \frac{l}{s} \times \frac{86400 s}{1 dia} \times \frac{1 m^3}{1000 l} = 16.98 m^3$$

En la actualidad se cuenta con un tanque ferrocemento de 36 m<sup>3</sup> cuyo volumen de almacenamiento cumple con lo requerido.

**2.1.7 Fuente de Abastecimiento:** Esta deberá asegurar un caudal mínimo de 2 veces el caudal máximo diario futuro calculado.

(Ecuación 2.7)

$$Q_{abastecimiento} = 2 \times QMD$$

Cálculo:

$$Q_{abastecimiento} = 2 \times 0.491 = 0.982 l/s$$

**2.1.8 Captación:** Esta debe tener una capacidad tal que permita derivar al sistema de agua potable un caudal mínimo equivalente.

(Ecuación 2.8)

$$Q_{captación} = 1.2 \times QMD$$

Cálculo:

$$Q_{captación} = 1.2 \times 0.491 = 0.589 l/s$$

**2.1.9 Conducción:** Cuando no requiere bombeo, el caudal de diseño será 1.1 veces el caudal máximo diario calculado al final del periodo de diseño.

(Ecuación 2.9)

$$Q_{conducción} = 1.1 \times QMD$$

Cálculo:

$$Q_{conducción} = 1.1 \times 0.491 = 0.540 \text{ l/s}$$

**2.1.10 Tratamiento:** La capacidad de la planta de potabilización será de 1.10 veces el caudal máximo diario calculado al final del periodo de diseño y en cualquier tipo de agua se considerará la desinfección como tratamiento mínimo.

(Ecuación 2.10)

$$Q_{tratamiento} = 1.10 \times QMD$$

Cálculo:

$$Q_{tratamiento} = 1.10 \times 0.491 = 0.540 \text{ l/s}$$

**2.1.11 Distribución de agua potable:** Cualquiera que sea el nivel de servicio mencionado en la tabla 2.2, la red de distribución será diseñada para el caudal máximo horario.

(Ecuación 2.11)

$$Q_{distribución} = QMH$$

Cálculo:

$$Q_{distribución} = 1.179 \text{ l/s}$$

### 2.1.12 Aforos

Se realizó el aforo de las tres captaciones principales (ciénegas), constituidas de tuberías de 6m con diámetros de  $\varnothing=110$  mm perforadas en la parte superior para captar el agua ya que se tiene un terreno totalmente pantanoso, el agua es llevada por medio de estas tuberías hacia un tanque de hormigón armado denominado “Jarupa”. Esta actividad se la realizó en las dos épocas (invierno-verano), empleando el método volumétrico. Este método consiste en tomar un recipiente con un volumen conocido en este caso 4 litros, el mismo se colocó en la salida del tubo conjuntamente se tomó el tiempo (segundos) de llenado del recipiente con la ayuda de un cronómetro. Este procedimiento fue realizado en tres repeticiones distintas. Finalmente, para obtener el caudal (l/s) dividimos el volumen recolectado para el tiempo que duró el llenado.

Luego se realizó aforos en un tanque común en el cual hay un aporte de agua de una comunidad aledaña de Singapugro obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2.9 Aforos de la Tubería proveniente de la Comunidad de Singapugro

TANQUE COMÚN (INVIERNO)			
AFORO	Volúmen (Litros)	Tiempo (s)	Q Caudal (L/s)
1	4	11.92	0.34
2	4	10.00	0.4
3	4	9.65	0.41
		<b>Promedio</b>	0.38

TANQUE COMÚN (VERANO)			
AFORO	Volúmen (Litros)	Tiempo (s)	Q Caudal (L/s)
1	4	15.73	0.25
2	4	22.42	0.18
3	4	27.36	0.15
		<b>Promedio</b>	0.19



Finalmente se realizó aforos en un tanque común de la tubería proveniente de las tres captaciones más el aporte de una quebrada, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2.10 Aforos de la Tubería proveniente de las Captaciones más el aporte de una Quebrada

TANQUE COMÚN (INVIERNO)			
AFORO	Volumen (Litros)	Tiempo (s)	Q Caudal (L/s)
1	4	3.52	1.14
2	4	4.37	0.92
3	4	5.15	0.78
		<b>Promedio</b>	0.95

TANQUE COMUN (VERANO)			
AFORO	Volumen (Litros)	Tiempo (s)	Q Caudal (L/s)
1	4	15.39	0.26
2	4	13.64	0.29
3	4	15.15	0.26
4	4	15.07	0.27
		<b>Promedio</b>	0.27

QUEBRADA (VERANO)			
AFORO	Volumen (Litros)	Tiempo (s)	Q Caudal (L/s)
1	4	3.66	1.09
2	4	3.23	1.24
3	4	3.5	1.14
4	4	3.93	1.02
5	4	3.5	1.14
		<b>Promedio</b>	1.13



## 2.2 Especificaciones de la Norma para el diseño de la Conducción y Distribución

La norma especifica que la red podrá estar conformada por ramales abiertos, mallas o una combinación de los dos tipos de sistemas, cumpliendo los parámetros de presiones, diámetros, accesorios y tuberías (NORMA CO 10.7-602):

- La presión estática máxima será de 4 kg/cm<sup>2</sup> o 40 m c a.
- La presión dinámica máxima será de 3 kg/cm<sup>2</sup> o 30 m c a.
- La presión dinámica mínima será de 0.7 kg/cm<sup>2</sup> o 7 m c a.
- El diámetro de los conductos de la red mínimo nominal será de 19 mm (3/4").
- La red debe disponer de válvulas que permitan independizar sectores para su operación y mantenimiento, sin tener que suspender el servicio.
- En ramales aislados las tuberías deberán diseñarse considerando la sobre presión producida por golpe de ariete (NORMA CO 10.7-602).

Para el sistema de agua potable en comunidades se toma en cuenta algunos parámetros que la norma establece como son: los tipos de conducción, estos pueden ser por gravedad o por bombeo. Para nuestro proyecto se utilizará un tipo de conducción forzada a gravedad donde se debe cumplir lo siguiente:

- La presión dinámica mínima en la línea de conducción será de 5 m c a.
- En ninguno punto la tubería deberá funcionar a una presión superior a la de trabajo, especificada por el fabricante.
- Para la conducción deberá tomarse en cuenta las presiones estáticas, dinámicas y las sobre presiones causadas por golpe de ariete.
- El diámetro mínimo de las tuberías en la línea de conducción será de 25 mm (1") (NORMA CO 10.7-602).

En lo que respecta a las conexiones domiciliarias se tiene que cumplir:

- Una sola conexión por cada vivienda.
- Cada conexión deberá contar con elementos necesarios que aseguren el acoplamiento a la tubería matriz y que sea adecuada para el medio rural.
- El medidor debe ubicarse en un lugar accesible y libre de vandalismo.
- Se excluirá el uso de medidores por razones plenamente justificadas (NORMA CO 10.7-602).

### **2.3 Parámetros de Diseño de una Planta de Tratamiento**

Todos los parámetros especificados en la sección 2.3 fueron tomados del libro Filtración lenta en arena tratamiento de agua para comunidades: Planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento. Cali: Cinara (Visscher, J. T., Paramasivan, R., Raman, A., & Heijnen, H. A. (1992).

Para el diseño de un proyecto de filtración se debe tomar en cuenta dos fases importantes: en la primera fase se busca precisar la capacidad del sistema de almacenamiento, aprovechar la infraestructura de abasto existente, identificar la alternativa de pretratamiento que se va a proyectar, estimar los costos de construcción,

operación y mantenimiento. Estos resultados se utilizan como base para obtener recursos, planear y organizar el proyecto.

### **2.3.1 Capacidad del Sistema**

Uno de los factores más importantes en el diseño es la capacidad de la planta de tratamiento o cantidad de agua total requerida por día o demanda máxima diaria. Este parámetro es de difícil estimación y depende del periodo de diseño, el número de usuarios del sistema ya la cantidad de agua que se va a suministrar por persona y por día.

El diseño del sistema de abastecimiento de agua se debe hacer con criterios de información nacional, preferiblemente con datos locales, estos deben estar relacionados directamente con la cantidad de agua que se debe suministrar por persona y por día. Para el proyecto se utilizó una demanda de 60 lt/hab día. Si la demanda no incluye pérdidas; se debe incrementar en un 20% a 30% aproximadamente.

### **2.3.2 Componentes Principales**

Una vez definido el tratamiento y la demanda, se procede a diseñar un sistema tomando en cuenta los escenarios más críticos (horas de máxima demanda). Se debe tratar que los filtros operen de manera permanente con una capacidad diaria igual a la demanda; estos filtros deben cumplir los siguientes parámetros de diseño:

Tabla 2.11 Criterios de Diseño para Filtros Gruesos Dinámicos

<b>FILTRO GRUESO DINAMICO (FGDi)</b>																											
<b>CRITERIOS DE DISEÑO</b>																											
CRITERIO		VALOR RECOMENDADO																									
Periodo de diseño (años)		8 a 12 OMS 10 a 15 Cinara 20 CO 10.7-602																									
Periodo de operación (h/d)		24																									
Velocidad de Filtración (m/h)		2 a 3																									
Carga Hidráulica (m/d)		24-36																									
Número mínimo de Unidades en Paralelo		2																									
Área de filtración por unidad en (m <sup>2</sup> )		< 10																									
Velocidad superficial de flujo durante el lavado (m/s)		0.15 - 0.30																									
Velocidad de Lavado (m/h)		20																									
Velocidad en los Orificios (drenes) ( m/s)		≤ 4																									
Orificios recomendable ø (mm) (pulg)		10 (3/8")																									
Espaciamiento entre orificios (cm)		10 a 30																									
Espaciamiento entre laterales (m)		0.5 - 1																									
<b>Lecho Filtrante</b>																											
Longitud (m)		0.6																									
Tamaño de las gravas (mm)		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Especificaciones del Lecho Filtrante recomendado para Filtros Gruesos Dinámicos</th> </tr> <tr> <th>Posición en la Unidad</th> <th>Espesor de la Capa (m)</th> <th>Tamaño de Grava (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Superior</td> <td>0.2</td> <td>3.0 a 6.0</td> </tr> <tr> <td>Intremedio</td> <td>0.2</td> <td>6.0 a 13.0</td> </tr> <tr> <td>Inferior (Fondo)</td> <td>0.2</td> <td>13.0 a 25.0</td> </tr> </tbody> </table>		Especificaciones del Lecho Filtrante recomendado para Filtros Gruesos Dinámicos			Posición en la Unidad	Espesor de la Capa (m)	Tamaño de Grava (mm)	Superior	0.2	3.0 a 6.0	Intremedio	0.2	6.0 a 13.0	Inferior (Fondo)	0.2	13.0 a 25.0									
		Especificaciones del Lecho Filtrante recomendado para Filtros Gruesos Dinámicos																									
		Posición en la Unidad	Espesor de la Capa (m)	Tamaño de Grava (mm)																							
		Superior	0.2	3.0 a 6.0																							
		Intremedio	0.2	6.0 a 13.0																							
		Inferior (Fondo)	0.2	13.0 a 25.0																							
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Lecho de Soporte</th> </tr> <tr> <th>Capa</th> <th>Tipo</th> <th>Díametro de la partícula (mm)</th> <th>Espesor de la capa (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Superior</td> <td>Arena gruesa</td> <td>1 a 2</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Segunda</td> <td>Grava fina</td> <td>2 a 5</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Tercera</td> <td>Grava</td> <td>5 a 10</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Inferior</td> <td>Grava gruesa</td> <td>10 a 25</td> <td>150</td> </tr> </tbody> </table>		Lecho de Soporte				Capa	Tipo	Díametro de la partícula (mm)	Espesor de la capa (mm)	Superior	Arena gruesa	1 a 2	50	Segunda	Grava fina	2 a 5	50	Tercera	Grava	5 a 10	50	Inferior	Grava gruesa	10 a 25	150
		Lecho de Soporte																									
		Capa	Tipo	Díametro de la partícula (mm)	Espesor de la capa (mm)																						
		Superior	Arena gruesa	1 a 2	50																						
Segunda	Grava fina	2 a 5	50																								
Tercera	Grava	5 a 10	50																								
Inferior	Grava gruesa	10 a 25	150																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Lecho de Soporte</th> </tr> <tr> <th>Capa</th> <th>Tipo</th> <th>Díametro de la partícula (mm)</th> <th>Espesor de la capa (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Superior</td> <td>Arena gruesa</td> <td>1 a 2</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Segunda</td> <td>Grava fina</td> <td>2 a 5</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Tercera</td> <td>Grava</td> <td>5 a 10</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Inferior</td> <td>Grava gruesa</td> <td>10 a 25</td> <td>150</td> </tr> </tbody> </table>		Lecho de Soporte				Capa	Tipo	Díametro de la partícula (mm)	Espesor de la capa (mm)	Superior	Arena gruesa	1 a 2	50	Segunda	Grava fina	2 a 5	50	Tercera	Grava	5 a 10	50	Inferior	Grava gruesa	10 a 25	150		
Lecho de Soporte																											
Capa	Tipo	Díametro de la partícula (mm)	Espesor de la capa (mm)																								
Superior	Arena gruesa	1 a 2	50																								
Segunda	Grava fina	2 a 5	50																								
Tercera	Grava	5 a 10	50																								
Inferior	Grava gruesa	10 a 25	150																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Lecho de Soporte</th> </tr> <tr> <th>Capa</th> <th>Tipo</th> <th>Díametro de la partícula (mm)</th> <th>Espesor de la capa (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Superior</td> <td>Arena gruesa</td> <td>1 a 2</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Segunda</td> <td>Grava fina</td> <td>2 a 5</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Tercera</td> <td>Grava</td> <td>5 a 10</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Inferior</td> <td>Grava gruesa</td> <td>10 a 25</td> <td>150</td> </tr> </tbody> </table>		Lecho de Soporte				Capa	Tipo	Díametro de la partícula (mm)	Espesor de la capa (mm)	Superior	Arena gruesa	1 a 2	50	Segunda	Grava fina	2 a 5	50	Tercera	Grava	5 a 10	50	Inferior	Grava gruesa	10 a 25	150		
Lecho de Soporte																											
Capa	Tipo	Díametro de la partícula (mm)	Espesor de la capa (mm)																								
Superior	Arena gruesa	1 a 2	50																								
Segunda	Grava fina	2 a 5	50																								
Tercera	Grava	5 a 10	50																								
Inferior	Grava gruesa	10 a 25	150																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Lecho de Soporte</th> </tr> <tr> <th>Capa</th> <th>Tipo</th> <th>Díametro de la partícula (mm)</th> <th>Espesor de la capa (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Superior</td> <td>Arena gruesa</td> <td>1 a 2</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Segunda</td> <td>Grava fina</td> <td>2 a 5</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Tercera</td> <td>Grava</td> <td>5 a 10</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Inferior</td> <td>Grava gruesa</td> <td>10 a 25</td> <td>150</td> </tr> </tbody> </table>		Lecho de Soporte				Capa	Tipo	Díametro de la partícula (mm)	Espesor de la capa (mm)	Superior	Arena gruesa	1 a 2	50	Segunda	Grava fina	2 a 5	50	Tercera	Grava	5 a 10	50	Inferior	Grava gruesa	10 a 25	150		
Lecho de Soporte																											
Capa	Tipo	Díametro de la partícula (mm)	Espesor de la capa (mm)																								
Superior	Arena gruesa	1 a 2	50																								
Segunda	Grava fina	2 a 5	50																								
Tercera	Grava	5 a 10	50																								
Inferior	Grava gruesa	10 a 25	150																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Lecho de Soporte</th> </tr> <tr> <th>Capa</th> <th>Tipo</th> <th>Díametro de la partícula (mm)</th> <th>Espesor de la capa (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Superior</td> <td>Arena gruesa</td> <td>1 a 2</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Segunda</td> <td>Grava fina</td> <td>2 a 5</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Tercera</td> <td>Grava</td> <td>5 a 10</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Inferior</td> <td>Grava gruesa</td> <td>10 a 25</td> <td>150</td> </tr> </tbody> </table>		Lecho de Soporte				Capa	Tipo	Díametro de la partícula (mm)	Espesor de la capa (mm)	Superior	Arena gruesa	1 a 2	50	Segunda	Grava fina	2 a 5	50	Tercera	Grava	5 a 10	50	Inferior	Grava gruesa	10 a 25	150		
Lecho de Soporte																											
Capa	Tipo	Díametro de la partícula (mm)	Espesor de la capa (mm)																								
Superior	Arena gruesa	1 a 2	50																								
Segunda	Grava fina	2 a 5	50																								
Tercera	Grava	5 a 10	50																								
Inferior	Grava gruesa	10 a 25	150																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Lecho de Soporte</th> </tr> <tr> <th>Capa</th> <th>Tipo</th> <th>Díametro de la partícula (mm)</th> <th>Espesor de la capa (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Superior</td> <td>Arena gruesa</td> <td>1 a 2</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Segunda</td> <td>Grava fina</td> <td>2 a 5</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Tercera</td> <td>Grava</td> <td>5 a 10</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Inferior</td> <td>Grava gruesa</td> <td>10 a 25</td> <td>150</td> </tr> </tbody> </table>		Lecho de Soporte				Capa	Tipo	Díametro de la partícula (mm)	Espesor de la capa (mm)	Superior	Arena gruesa	1 a 2	50	Segunda	Grava fina	2 a 5	50	Tercera	Grava	5 a 10	50	Inferior	Grava gruesa	10 a 25	150		
Lecho de Soporte																											
Capa	Tipo	Díametro de la partícula (mm)	Espesor de la capa (mm)																								
Superior	Arena gruesa	1 a 2	50																								
Segunda	Grava fina	2 a 5	50																								
Tercera	Grava	5 a 10	50																								
Inferior	Grava gruesa	10 a 25	150																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Lecho de Soporte</th> </tr> <tr> <th>Capa</th> <th>Tipo</th> <th>Díametro de la partícula (mm)</th> <th>Espesor de la capa (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Superior</td> <td>Arena gruesa</td> <td>1 a 2</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Segunda</td> <td>Grava fina</td> <td>2 a 5</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Tercera</td> <td>Grava</td> <td>5 a 10</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Inferior</td> <td>Grava gruesa</td> <td>10 a 25</td> <td>150</td> </tr> </tbody> </table>		Lecho de Soporte				Capa	Tipo	Díametro de la partícula (mm)	Espesor de la capa (mm)	Superior	Arena gruesa	1 a 2	50	Segunda	Grava fina	2 a 5	50	Tercera	Grava	5 a 10	50	Inferior	Grava gruesa	10 a 25	150		
Lecho de Soporte																											
Capa	Tipo	Díametro de la partícula (mm)	Espesor de la capa (mm)																								
Superior	Arena gruesa	1 a 2	50																								
Segunda	Grava fina	2 a 5	50																								
Tercera	Grava	5 a 10	50																								
Inferior	Grava gruesa	10 a 25	150																								
Altura del Veredero de Salida (m)		0.03 (Medidos atravez del lecho superficial de grava fina)																									

Fuente: Filtración en Múltiples Etapas Tecnología para el tratamiento de Agua, 1999)

Tabla 2.12 Criterios de Diseño para Filtros Gruesos Ascendentes en Serie

<b>FILTRO GRUESO ASCENDENTE EN CAPAS (FGAC)</b>	
<b>CRITERIOS DE DISEÑO</b>	
Criterio	Valor
Perido de diseño (años)	8 - 12 (Cinara) 20 (CO 10.7 602)
Velocidad de filtración (m/h) (1)	0.3 - 0.6
Carga Hidráulica (m/d)	7 a 15
Velocidad de Lavado (m/h)	20
Velocidad en los Orificios drenes (m/s)	≤ 4
∅ Orificios recomendable (")	(3/8)
Espaciamiento entre orificios (cm)	10 a 30
Espaciamiento entre laterales (cm)	0.5 a 1
Número de unidades en serie:	
FGAC	1
FGAS	2 a 3
Lecho Filtrante	
Longitud total (m)	
FGAC	0.6 - 0.9
FGAS	1.15 - 2.35
Tamaño (mm)	

<b>FGAS 2</b>		
<b>FGAC 1</b>		
Capas	Espesor (m)	Tamaño (mm)
Capa Soporte (h0)	0.3	19.00 – 25.00 mm
Capa lecho (h1)	0.3 - 0.45	13.00 – 19.00 mm
Capa lecho (h2)	0.3 - 0.45	6.00 – 13.00 mm
Total (m) :		
Soporte	0.3	
Lecho Filtrante	0.6 a 0.9	
<b>FGAC 2</b>		
Capas	Espesor (m)	Tamaño (mm)
Capa lecho (h1)	0.2	13.00 – 19.00 mm
Capa lecho (h2)	0.15	6.00 – 13.00 mm
Capa lecho (h3)	0.3 - 0.45	3.00 – 6.00 mm
Capa lecho (h4)	0.25 - 0.40	1.60 – 3.00 mm
Total (m) :		
Soporte	0.35	
Lecho Filtrante	0.55 a 0.85	
Altura Sobrenadante de Agua (m)	0.1 - 0.2	
Carga estática mínima de agua para lavado en contraflujo (m)	3	
Área de Filtración (m <sup>2</sup> )	< 20	

Fuente: (Filtración en Múltiples Etapas Tecnología para el tratamiento de Agua,1999)

Tabla 2.13 Criterios de diseño para Filtros Lentos

<b>Criterios de diseño</b>	<b>Valores recomendados</b>
Período de diseño (años)	10 a 15 CInara 20 CO 10.7-602
Período de operación ( h/d)	24
Velocidad de filtración (m/h)	0,1 - 0,2
Carga Hidraulica (m/d)	2-5
Area superficial del filtro (m <sup>2</sup> )	5 - 20 por filtro
Número de filtros	mínimo 2 unidades
Altura del Lecho Filtrante	
Inicial (m)	0,8 - 0,9
Mínima (m)	0,5 - 0,6
Especificación de la arena	
Tamaño efectivo	0,15 - 0,30
Coefficiente de Uniformidad	< 5 preferiblemente
Altura de drenaje incluye capa de grava (m)	0,3 - 0,5
Altura de agua sobrenadante	0,8 - 1,0 m
Velocidad en los Orificios (drenes)	≤ 4 m/s
Orificios recomendable ø (mm) (pulg)	10 (3/8")
Espaciamiento entre orificios (cm)	10 a 30

Fuente: (Filtración Lenta en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades,1992)

Tabla 2.14 Criterios de diseño para Sedimentadores Convencionales

Criterios de diseño	Valores recomendados
Periodo de Diseño	(OMS) 8 a 16 años (CO 10.7 - 602) 20 años
Número de Unidades	Mín. 2
Periodo de Operación	24 horas/día
Carga Superficial	2 a 10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .día
Profundidad del Sedimentador	1,5 a 2,5 m
Dimensiones: Relación Largo/ Ancho	3 a 6
Dimensiones: Relación Largo/ Profundidad	5 a 20
Pendiente de Fondo	5 a 10 %
Velocidad en los orificios	< 0,15 m/s
Angulo de los orificios en sentido del Flujo	15 °
Descarga de lodos (ubicación)	1/3 de la unidad
Caudal de Recolección en la zona de Salida	≤ 3 l/s
Relación de velocidades de flujo y dimensiones	$\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$
Sección de la Compuerta	$A_2 = \frac{As \times \sqrt{H}}{4850 \times t}$
Ubicación de la Pantalla (Distancia a la pared de	0,70 a 1 m
Ubicación de los Orificios Altos	1/5 a 1/6 de H
Ubicación de los Orificios Bajos	1/4 a 1/5 de H
Tiempo de Retención	2 a 6 horas

Fuente: (Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores, 2005)

## 2.4 Análisis de alternativas de Tratamiento

Para el tratamiento una vez obtenidos los resultados del análisis de agua de cada una de las captaciones, quebrada sugerida, tanque común, inicio y fin de la distribución se ha decidido implementar dos alternativas:

- Luego de haber realizado un balance de masas en el tanque que se unen tanto el caudal de las captaciones más el de una quebrada y el caudal proveniente de una comunidad aledaña. Se opta por una primera alternativa que consta de: 1 Filtro Grueso Dinámico, 2 Filtros Ascendentes en Serie, 2 Filtros Lentos de Arena, Caseta de Cloración y 1 Tanque de Reserva. Obteniendo con este tratamiento un nivel de eficiencia satisfactorio, mismo que se detalla en el Anexo 5.

- Tomado en cuenta que el valor del color obtenido en los resultados de laboratorio es elevado. Se plantea una segunda opción la cual conlleva a utilizar coagulantes químicos para su remoción. Esta consta de: 1 Filtro Grueso Dinámico, Mezcla Rápida, Floculador de Medio Poroso, Sedimentador, 2 Filtros Lentos de Arena, Caseta de Cloración y 1 Tanque de Reserva. Con esta alternativa también se obtiene un nivel de eficiencia satisfactorio, mismo que se encuentra detallado en el Anexo 5, cabe recalcar que esta opción por la dificultad de mantenimiento no es común en las comunidades.

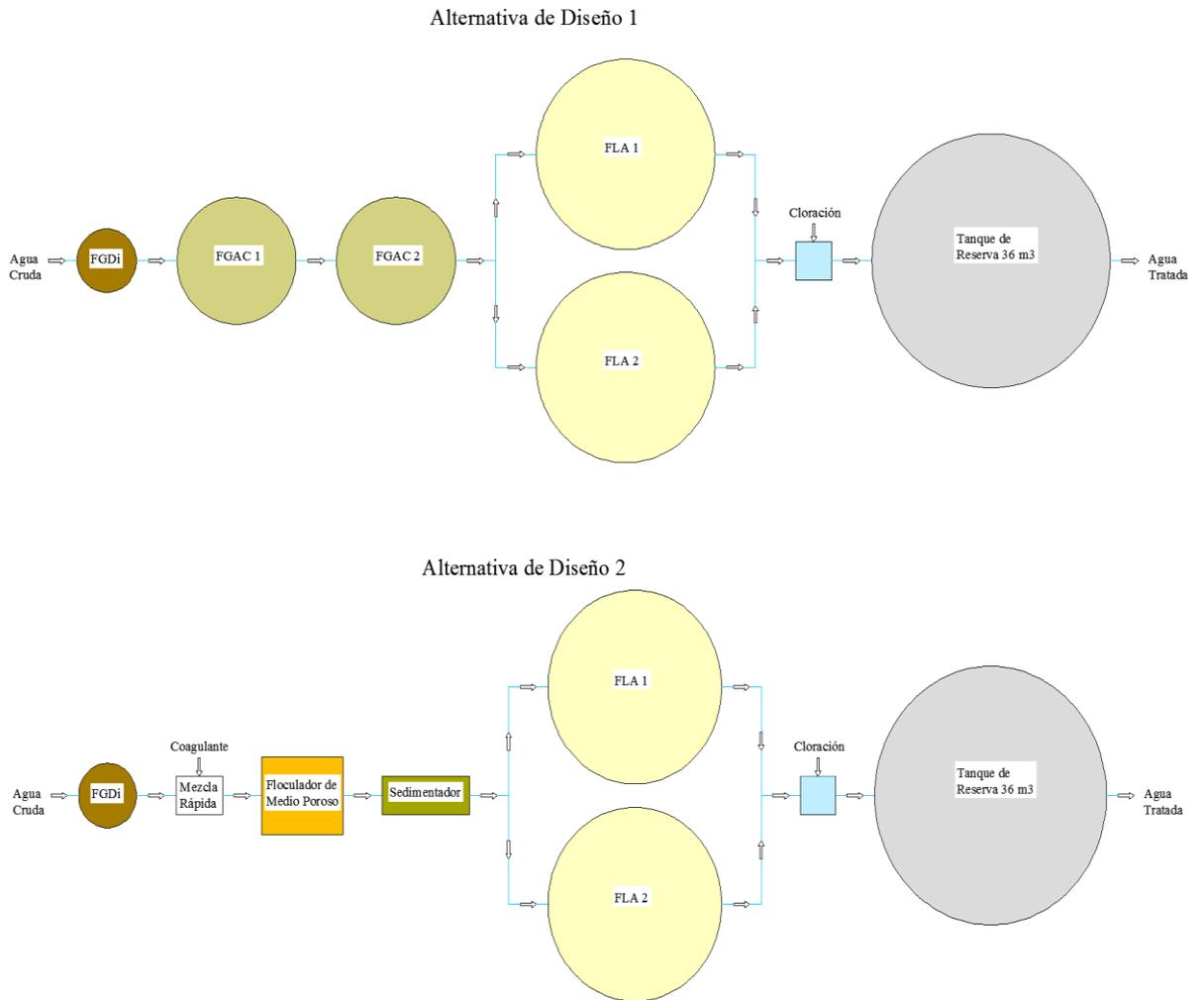


Figura 2.1 Esquemas de Tratamiento Planteados

Tabla 2.15 Guía para la selección de sistemas de tratamiento para agua superficial en aguas rurales

Calidad promedio del agua cruda	Tratamiento requerido
Turbiedad 0-5 UNT NMP* de coliformes fecales: 0 Gusano de Guinea o esquistosomiasis no endémica	No requiere tratamiento.
Turbiedad 0-5 UNT NMP* de coliformes fecales: 0 Gusano de Guinea o esquistosomiasis endémica	Filtración lenta de arena
Turbiedad 0-20 UNT NMP* de coliformes fecales: 1-500	Filtración lenta de arena Cloración si es posible
Turbiedad 20-30 UNT (30 UNT por algunos pocos días) NMP* de coliformes fecales: 1-500	Conveniente pretratamiento Filtración lenta de arena Cloración si es posible
Turbiedad 20-30 UNT (30 UNT por algunas semanas) NMP* de coliformes fecales: 1-500	Recomendable el pretratamiento Filtración lenta de arena Cloración si es posible
Turbiedad 30-150 UNT NMP* de coliformes fecales: 500-5000	Pretratamiento Filtración lenta de arena Cloración si es posible
Turbiedad 30-150 UNT NMP* de coliformes fecales > 5000	Pretratamiento Filtración lenta de arena Cloración si es posible
Turbiedad > 150	Se requiere una investigación detallada y estudio en planta piloto
*NMP Número probable de coliformes fecales por 100 ml	

Fuente: (Filtración Lenta en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades, 1992)

### 2.4.1 Filtro Grueso Dinámico:

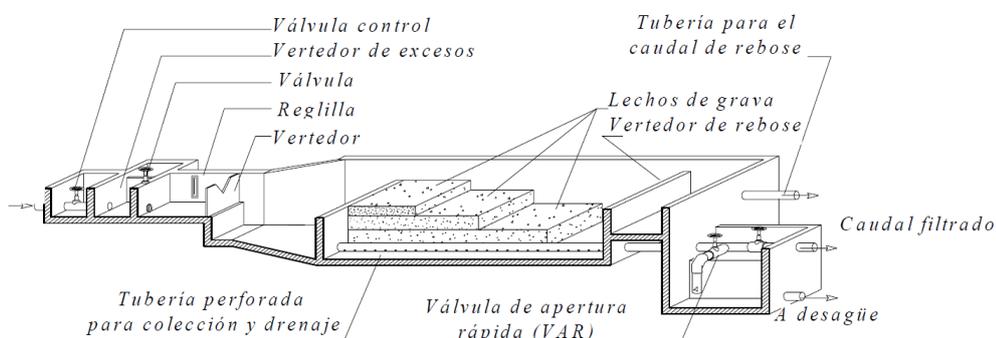


Figura 2.2 Componentes de un filtro Grueso Dinámico

Fuente: (Organización panamericana de la Salud Guía para Diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas, 2005)

El Filtro Grueso Dinámico, es la primera etapa de tratamiento consta de dos módulos que son operados en paralelo. Cada unidad está compuesta por lechos de grava, colocando la más gruesa en el fondo mientras que la fina va en la superficie, el agua atraviesa los lechos de grava y es recolectada en el fondo mediante un sistema de drenaje. El objetivo de este sistema es remover el material grueso como sólidos suspendidos que se encuentran presentes en el agua, también esta estructura remueve coliformes fecales, hierro y manganeso.

Estos filtros se encuentran estructurados de la siguiente manera:

- Estructura de entrada y salida
- Accesorios de regulación y control
- Cámara de filtración
- Lecho filtrante y de soporte
- Sistema de drenaje y cámara de lavado

#### **2.4.1.1 Estructura de Entrada y Salida**

Está compuesta por dos cámaras rectangulares, la primera sirve para remover el material grueso; mientras que la segunda permitirá la disipación de energía.

#### **2.4.1.2 Accesorios de Regulación y Control**

Se refieren a válvulas y también a la altura del vertedero de salida que parte del lecho superficial de grava fina esta puede variar de 0.03 m a 0.05 m.

#### **2.4.1.3 Cámara de Filtración**

Está constituida por el sistema de drenaje, lecho filtrante, altura de agua sobre el lecho (carga hidráulica) y borde libre (0.20 m).

#### 2.4.1.4 Lecho Filtrante y de Soporte

El lecho filtrante debe contener granulometría que va desde la más gruesa en el fondo hasta la más fina en la parte superior, el espesor de estas capas es de 0.20 m. De igual manera el lecho de soporte contiene granulometría que varía desde grava gruesa en el fondo con un espesor de 0.15 m seguido de tres capas de grava, grava fina y arena gruesa con un espesor de 0.05 m.

#### 2.4.1.5 Sistema de Drenaje y Cámara de Lavado

El sistema de drenaje está constituido por una tubería perforada que es regulada por medio de válvulas; mientras que la cámara de lavado debe tener dimensiones que faciliten su operación, estas oscilan de 3 m<sup>2</sup> a 5 m<sup>2</sup>, con una profundidad que varía de 0.20 m a 0.40 m (Cinara, 1999).

#### 2.4.2 Filtros Gruesos Ascendentes en Capas:

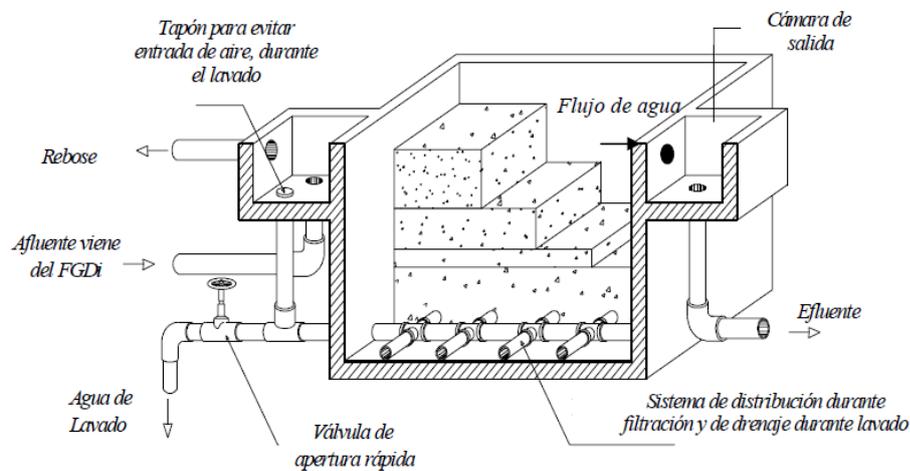


Figura 2.2.3 Filtro Grueso Ascendente en Capas

Fuente: (Filtración en Múltiples Etapas, 2005)

En los diseños de plantas de tratamiento, no se toma en cuenta las variaciones de la calidad del agua, sobre todo en épocas de invierno en el que la turbidez aumenta significativamente, esto hace que los filtros no trabajen adecuadamente obstruyéndolos, para hacer frente a esto es necesario un pretratamiento (filtración) cuya función no solo es contrarrestar la turbidez si no también retener las algas y

bacterias del agua alargando el periodo de operación de los filtros y disminuyendo su mantenimiento.

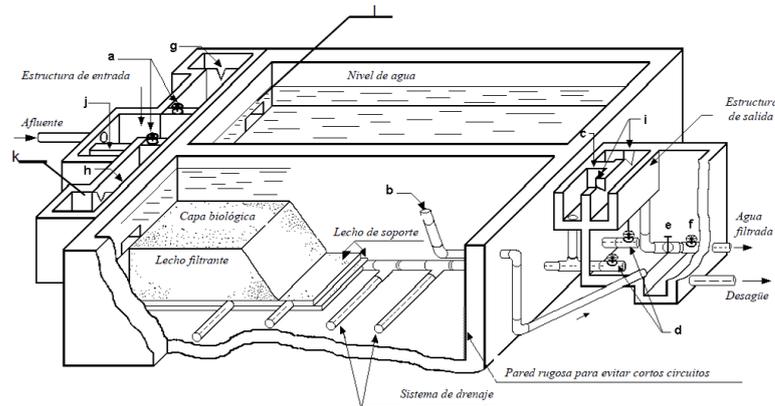
Se recomienda Filtros de Flujo Ascendente ya que su mantenimiento es más sencillo (retrolavado hidráulico), este tipo de proceso es empleado para aguas de turbidez inferior a 50 UT, el Filtro de grava de flujo ascendente está compuesto por capas de grava de diferentes tamaños, al fondo la grava más gruesa y en su parte superior la grava más fina la tubería de ingreso se introduce al fondo de la unidad, atraviesa toda la zona de filtración hasta llegar a una caja de salida que contiene de un vertedero ubicado en la parte superior (Marrón, Planta de Tratamiento de Filtración Lenta; Diseño Operación y Mantenimiento, 1999).

- La relación de velocidades entre la tubería secundaria y principal que disminuye el agua en el fondo de la unidad debe cumplir lo siguiente  $V_p/V_s \leq 0.462$ .

Un filtro grueso ascendente está constituido por:

- Cámara de filtración con (1, 2 o 3 compartimientos).
- Lecho filtrante
- Estructura de entrada y salida
- Sistema de drenaje y cámara de lavado
- Accesorios de regulación y control
- Dispositivos para la limpieza superficial

### 2.4.3 Filtro Lento:



- a. Válvula para controlar entrada de agua pretratada y regular velocidad de filtración
- b. Dispositivo para drenar capa de agua sobrenadante, "cuello de ganso".
- c. Conexión para llenar lecho filtrante con agua limpia
- d. Válvula para drenar lecho filtrante
- e. Válvula para desechar agua tratada
- f. Válvula para suministrar agua tratada al depósito de agua limpia
- g. Vertedero de entrada
- h. Indicador calibrado de flujo
- i. Vertedero de salida.
- j. Vertedero de excesos
- k. Cámara de entrada a FLA
- l. Ventana de acceso a FLA

Figura 2.4 Componentes de un filtro Grueso Dinámico

Fuente: (OPS, Guía para Diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas, 2005)

“Generalmente estos filtros son empleados en zonas rurales, estando estructurados de la siguiente manera:

- Una capa sobrenadante de agua
- Un lecho de arena fina
- Un sistema de drenaje
- Una estructura de entrada y salida
- Un conjunto de dispositivos de regulación y control

Una alternativa de regulación en la entrada para una adecuada operación y mantenimiento, presenta los siguientes componentes:

#### 2.4.3.1 Caja de filtro

La altura puede variar entre 1,90 a 2,50 desde el fondo a la corona del muro, pudiendo construirlos de hormigón armado, ferrocemento, piedra o mampostería. Todas estas opciones deben ser lo suficientemente estancas para evitar pérdidas y prevenir la contaminación.

#### **2.4.3.2 Estructura de entrada**

Esta estructura está conformada por canales o conductos de acceso para medición de flujo, también consta de una caja exterior a la caja de filtro permitiendo que el flujo vaya hacia el filtro sin ocasionar daños a la biomembrana que se encuentra sobre la parte superior del lecho de arena.

#### **2.4.3.3 Capa de agua sobrenadante**

Esta capa proporciona una carga hidráulica necesaria para que el agua fluya a través del lecho de material filtrante, conjuntamente se crea un periodo de retención de varias horas que determinara el éxito del proceso. La profundidad para esta capa sobrenadante varía entre 0,80 a 1,0 m.

#### **2.4.3.4 Salida de impurezas flotantes**

Es necesario contar con un dispositivo para extracción de impurezas en la capa de agua, estas pueden ser hojas, algas o material flotante. Este dispositivo cumple dos funciones: la primera actúa como rebosadero para el agua sobrenadante y la segunda sirve como drenaje cuando se requiere mantenimiento y limpieza de la unidad.

#### **2.4.3.5 Lecho filtrante**

Hay muchos materiales granulares que se pueden emplear, pero la arena es uno de los materiales más adecuados para servir como lecho filtrante ya que cuenta con características como: bajo costo, inerte, duradera y de fácil obtención. Cuando ésta es colocada en el filtro debe estar libre de arcilla tierra o cualquier tipo de material orgánico.

El material filtrante está en función de su tamaño efectivo ( $d_e$  o  $d_{10}$ ), siendo ésta la abertura del cedazo que permite pasar el 10% (por peso) de los granos y coeficiente de uniformidad que se obtiene dividiendo la abertura del cedazo para el tamaño efectivo

a través del cual pasara el 60 % (por peso) de los granos ( $d_{60}$ ); coeficiente de uniformidad es igual:  $Cu = d_{60}/d_{10}$ .

La arena que va a ser utilizada en los filtros lentos debe ser relativamente fina, teniendo un tamaño efectivo de 0,15 a 0,30 mm y un  $Cu < 5$ , pero preferiblemente entre 2 y 3. También esta arena no debe ser demasiado fina ya que incrementará la pérdida inicial de carga hidrostática, aunque la calidad del efluente sea mejor.

El espesor mínimo del lecho filtrante debe ser 0,50 m. En la limpieza periódica se extrae de 1 a 2 cm de la capa superior de arena, por esto se añade 0,30 m para elevar a 0,80 m su espesor inicial. Las limpiezas que se realizan periódicamente a estos filtros reducirán gradualmente el espesor del lecho filtrante, por esto el segundo o tercer año este tendrá un espesor mínimo, por lo que habrá que reponer la arena.

#### **2.4.3.6 Sistema de Drenaje.**

Este sistema cumple con dos funciones importantes; la primera permite el paso de agua tratada y la segunda soporta el lecho de material filtrante. Estructuralmente conformada de un drenaje principal y uno lateral, construidos de tuberías perforadas o de un piso falso hecho de bloques de hormigón o ladrillo con una cubierta de capas de grava graduada. Estas capas no permiten que la arena ingrese al filtro o que obstruya el sistema de drenaje, garantizando la recolección uniforme del agua filtrada.

El espesor del sistema de drenaje incluido capa de grava oscila entre 0,20 a 0,50 m y su profundidad será de 0,15 a 0,20 m esto si emplean tuberías corrugadas.

#### **2.4.3.7 Cámara de Salida.**

Esta generalmente consta de dos secciones separadas por una pared, en cuya parte superior se coloca un vertedero con su rebosadero ligeramente por encima de la parte superior del lecho de arena. Este vertedero impide el desarrollo de una presión inferior

a la atmosférica en el lecho filtrante, ya que esto podría dar lugar a la formación de burbujas de aire debajo de la capa biológica. Mediante este vertedero el filtro actúa independiente mente de las diferencias del nivel de agua del tanque, con la caída libre del agua en el vertedero se incrementa la concentración de oxígeno en el agua filtrada, por esto la cámara de vertedero debe estar ventilada para facilitar la aeración (Cinara F. L., 1992).

#### **2.4.4 Mezcla Rápida**

Para lograr la dispersión del coagulante a aplicar; se debe construir estructuras de mezcla rápida que produzcan un punto de turbulencia para la adición del químico, en este caso se empleara un dispositivo hidráulico (vertedero triangular que produzca un resalto) (Rivas, 2015). El gradiente de velocidad es un indicador hidráulico del tipo de mezcla, el mismo que debe estar en un rango de 1000 a 2000 s<sup>-1</sup>.

#### **2.4.5 Floculador de Medios Porosos.**

Este tipo de floculadores son de gran interés por su aplicación en pequeñas poblaciones, debido a su bajo costo y alta eficiencia. No existe problemas de obstrucción para caudales menores o iguales a 10 l/s (Carlos Richther, 1991). El agua flocula al pasar a través de los poros de un material granulado; los cuales actúan como pequeños compartimientos.

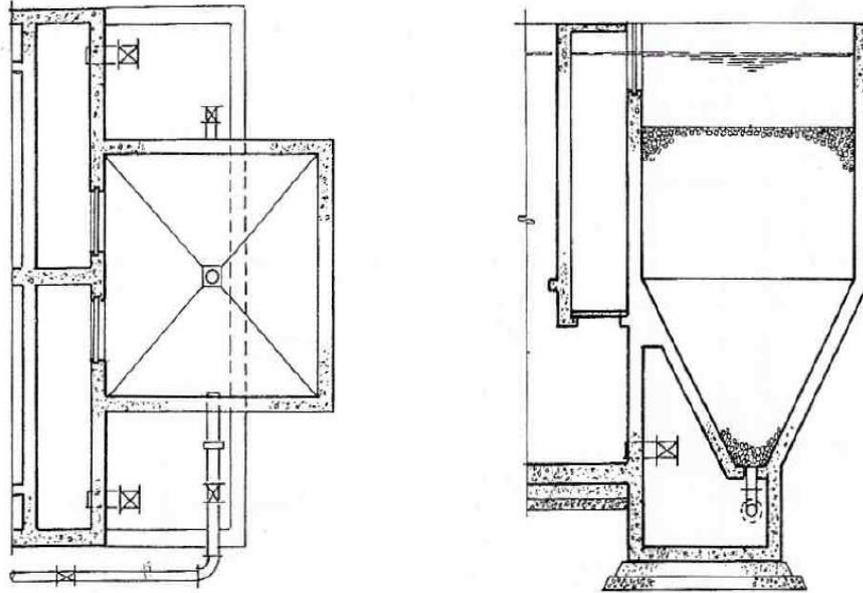


Figura 2.5 Floculadores de Medio Poroso  
Fuente: (Tratamiento de Agua tecnología actualizada,1991)

#### 2.4.5.1 Parámetros y recomendaciones

Es una unidad hidráulica que tiene un gran número de compartimientos, esto permite que tenga gran eficiencia. Los materiales que se utilizan son: piedras, bolitas de plástico, residuos de fábricas de plástico, segmentos de tubos, materiales no contaminantes.

Según investigaciones sobre floculadores, solo permiten diseños con piedra de  $\frac{1}{2}$  “a  $\frac{3}{4}$ ” (diámetro medio de 15,90 mm). Se recomienda diseñar esta unidad con flujo ascendente y de forma tronco-cónica a fin de escalonar los gradientes de velocidad, manteniendo el tamaño del material para facilitar la limpieza. Por efecto del infinito de numero de compartimientos de la estructura el tiempo de retención total es de apenas 5 a 10 minutos (OPS O. P., Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental, 2006).

#### 2.4.6 Sedimentadores Convencionales de Flujo Horizontal

Este tipo de unidades consta de cuatro zonas, cada una de estas cumple una función específica:

- Zona de Entrada: debe asegurar un reparto uniforme del caudal en toda el área.
- Zona de Salida: debe asegurar un flujo uniforme, es decir que no produzca turbulencias.
- Zona de Lodos: es el lugar en donde se acumulan las partículas sedimentadas para que posteriormente sean retiradas.
- Zona de Sedimentación: tiene que ser lo suficientemente espacioso para que las partículas sedimentadas desciendan por gravedad, sin llegar a interrumpir la función de las demás zonas.

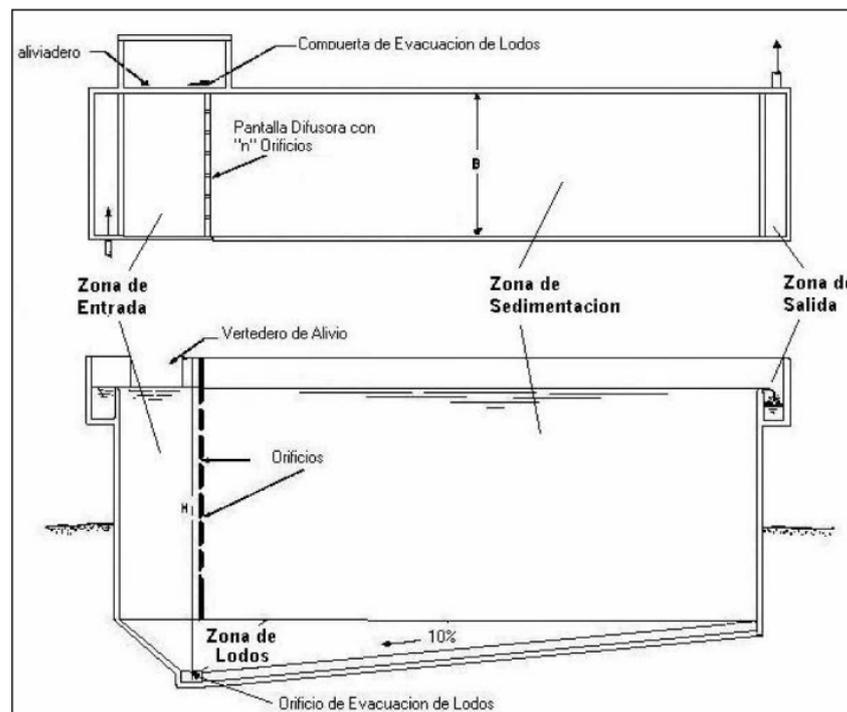


Figura 2.6 Sedimentador Convencional.

Fuente: (Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores, 2005)

## 2.5 Galerías de Infiltración

### 2.5.1 Parámetros y recomendaciones

Para el proyecto del sistema de abastecimiento de agua potable se ha escogido el método de Galerías de Infiltración, que es capaz de proporcionar un caudal determinado en todo tiempo (invierno – verano). Las características de las captaciones son la de un acuífero con escurrimiento propio, cercano a la superficie. Para evitar la contaminación de las aguas que vaya a producir una galería, es recomendable la construcción de un cerramiento que evite el ingreso de animales (ganado vacuno y

caballar), al sitio donde se ubican los sistemas de drenaje disminuyendo la contaminación bacteriológica. Para nuestro caso lo más acertado sería colocar la galería en el fondo, de tal manera que se pueda extraer todo el caudal que se escurre sobre él. Para el diseño del colector de la galería se debe tomar en consideración lo siguiente:

- La sección debe tener suficiente espacio para que el operador pueda hacer la limpieza tanto de la tubería perforada como del colector.
- Se debe proveer un máximo de área abierta para que el agua circule desde el acuífero al conducto.

El diámetro del conducto influye directamente en el rendimiento por unidad de longitud de la galería. Preferiblemente se deben utilizar tuberías con diámetros que faciliten la limpieza y mantenimiento. El material escogido para las tuberías perforadas es el P.V.C porque a más de tener características de durabilidad, también bajo costo, facilidad de realizar las perforaciones, no es corrosivo etc.

Para la pendiente recomienda esta entre 0.001 y 0.005 m/m de tal manera que las aguas recolectadas en las tuberías adquieran la suficiente velocidad para realizar una auto limpieza y deposite los sedimentos en el colector.

La perforación en los conductos será circular; las mismas que deberán estar uniformemente distribuidas para evitar crear zonas más débiles por las cuales la tubería pueda fallar (Montemayor, 1979).

## **2.6 Sectorización de la red de distribución**

La red de distribución está conformada por ramales, los cuales inician desde el tanque de reserva existente hacia los distintos sectores de la población. Para dotar de agua a pobladores que se encuentran ubicados en zonas más altas se ha optado bombear agua hacia un nuevo tanque nuevo de almacenamiento.

Tabla 2.16 Sectorización de la Red de Distribución

<b>Sectorización de la Red de Distribución</b>			
Ramal	# Casas	Caudal por Casa q (l/s)	Caudal por Ramal QR (l/s)
1A	8	0.012	0.096
1B	3	0.012	0.036
2A	7	0.012	0.084
2B	7	0.012	0.084
3A	18	0.012	0.216
3B	23	0.012	0.276
3C	14	0.012	0.168
3D	5	0.012	0.06
3E	9	0.012	0.108
Bomba	4	0.012	0.048

## 2.7 Análisis de alternativas de materiales y accesorios a utilizar

Los materiales a utilizar en el diseño son los siguientes:

- Tubería PVC
- Válvulas de Compuerta
- Válvulas de Aire
- Válvulas de Purga
- Tanque Rompe Presiones
- Accesorios para Conexiones.

## CAPITULO 3

## DISEÑO DEFINITIVO

## 3.1 Diseño de la captación

Las tuberías de P.V.C. que se va a utilizar en las galerías de infiltración son de 200 mm de diámetro para la tubería principal de recolección y 110 mm de diámetro para las secundarias, los orificios de la tubería deben ir en doble línea a  $30^\circ$  a lado y lado del punto de contacto de la tubería con el fondo. La concentración de agujeros se recomienda que sea aproximadamente de 48 orificios de 6mm de diámetro por metro lineal de tubería como se indica en la figura 3.1 (Corcho Romero, 2005).

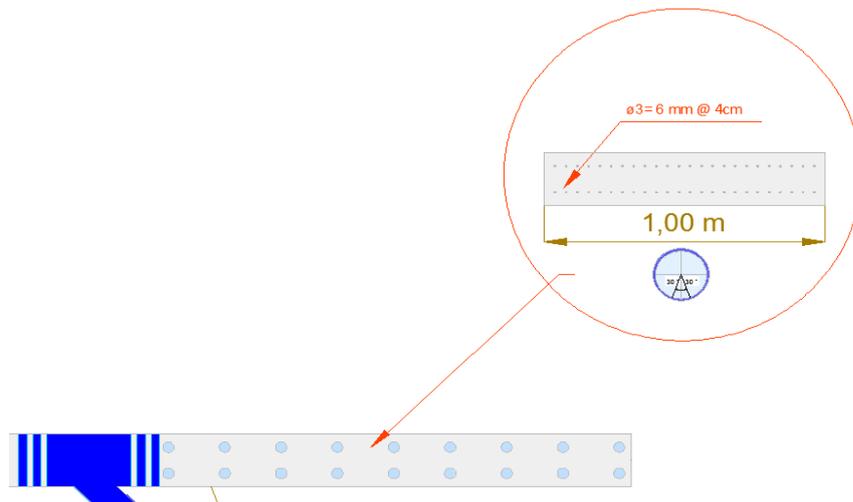


Figura 3.1 Distribución típica de las perforaciones circulares en tuberías de hierro fundido y P.V.C

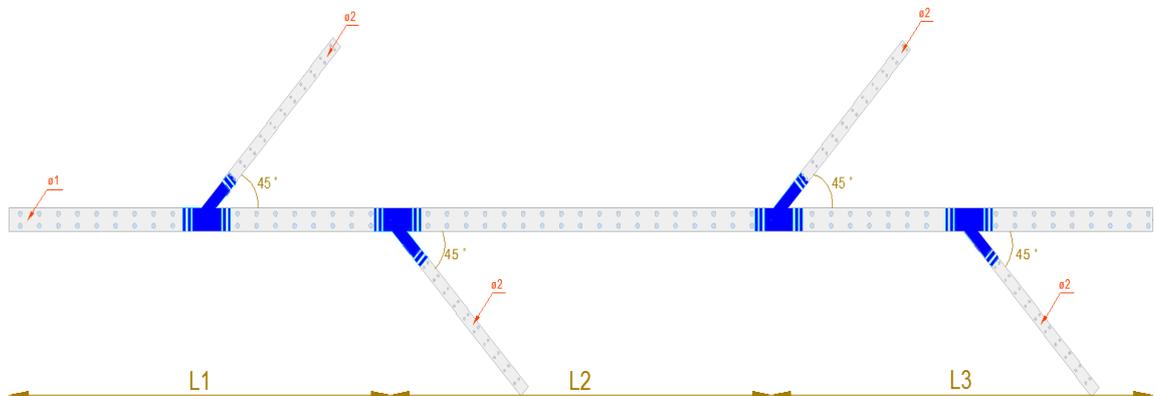


Figura 3.2 Galerías de Infiltración de tubería P.V.C Tipo YE

Para el forro filtrante se recomienda una capa exterior de grava con tamaños que varíen entre 2.10 y 6.35 mm, una capa intermedia con tamaños entre 6.35 y 19.05 mm y una capa en contacto con las paredes del conducto con tamaños entre 19.05 mm y 50.80mm. El espesor mínimo de cada capa tiene que ser 15 cm, mientras más grande sea el espesor de las capas, se disminuye el riesgo de que granos finos del acuífero sean arrastrados al interior del conducto.

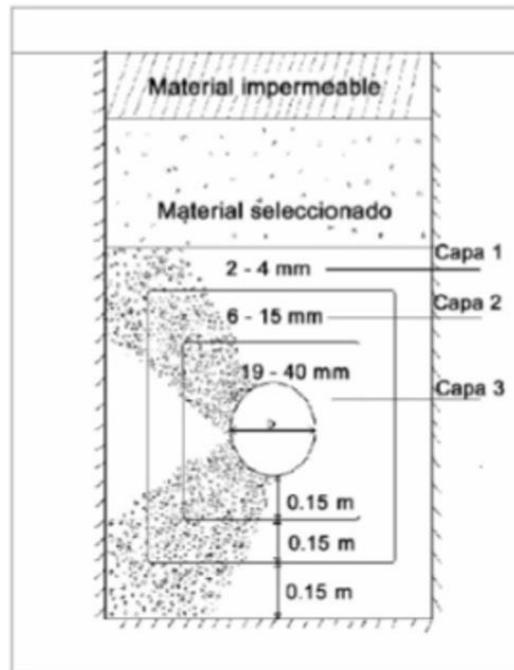


Figura 3.3 Distribución de Capas Concéntricas en el Forro Filtrante.  
Fuente: (CIEMA, 2016)

La función del pozo colector es recolectar el agua proveniente de las tuberías perforadas (Sistema de Recolección Y). Su dimensionamiento debe ser tal que le permitan al operador realizar labores de limpieza y mantenimiento de los conductos y pozo colector, las paredes y fondo del pozo deben ser impermeables (Montemayor, 1979). Este proyecto consta de dos sistemas de recolección, por lo tanto, se construirán tres pozos colectores uno para cada sistema, las longitudes de las tuberías de PVC diseñadas y las dimensiones de los pozos colectores se encuentran en el Anexo 8.

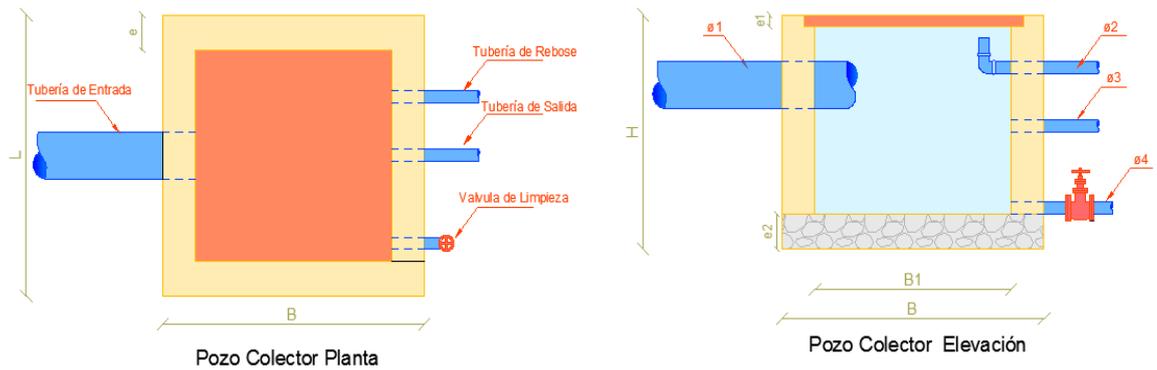


Figura 3.4 Pozo Colector al final de Sistemas de Recolección

### 3.2 Diseño de la conducción de agua cruda

Los criterios de diseño que se toman en cuenta para el diseño de la conducción son los siguientes:

- La carga estática disponible o diferencia de niveles.
- Capacidad para transportar el caudal máximo diario mayorado un 10% como especifica la norma (NORMA CO 10.7-602).
- Diámetros económicos que garanticen la capacidad de transporte y permitan presiones adecuadas iguales o menores que las presiones de trabajo de la tubería.
- La clase de material de la tubería deberá ser capaz de soportar las presiones hidrostáticas.
- Implementar estructuras complementarias necesarias para el buen funcionamiento para la línea de conducción (Corcho Romero, 2005).

El diseño de la conducción se realizó utilizando el programa EPANET, este es un programa de ordenador que realiza simulaciones en periodo extendido y permanente del comportamiento hidráulico en redes de distribución a presión. Una red consta de tuberías, nudos (conexiones entre tuberías), bombas, válvulas y tanques de almacenamiento o depósitos. EPANET determina el caudal que circula por cada una de las conducciones, la presión en cada uno de los nudos, visualizar los resultados obtenidos, así mismo puede servir para la evaluación de diferentes estrategias alternativas de gestión de los sistemas de distribución encaminados a la mejora de la calidad del agua.

Además, calcula las pérdidas por fricción en las conducciones mediante las expresiones de Hazen-Williamms, Darcy-Weisbach, o Chezy-Manning, también modela diferentes tipos de válvulas.

Para este proyecto se utilizó:

- La fórmula de Darcy Weisbach
- Tuberías P. V. C
- Coeficiente de Rugosidad de 0.0025

Tabla 3.1 Coeficiente de Rugosidad para diferentes Materiales

<b>Material</b>	<b>Darcy-Weisbach <math>\epsilon</math> (mm)</b>
PVC y PE	0.0025
Fibrocemento	0.025
Fundición revestida	0.03
Fundición no revestida	0.15
Hormigón armado	0.1
Hormigón liso	0.025

Fuente: Manual Epanet

Este programa nos proporciona resultados tanto en las conexiones como en las tuberías:

En las Conexiones:

- Altura piezométrica
- Presión

En la Tuberías:

- Caudal
- Velocidad
- Pérdidas
- Factor de fricción de Darcy – Weisbach (Manual de Epanet).

En el trayecto de la conducción se colocaron dispositivos que eviten insuficiencias en la capacidad de transporte de la tubería, colapso, sobrepresiones producidas por el golpe

de ariete o por presiones estáticas superiores a las presiones de trabajo de la tubería. Los dispositivos son:

- Tanques rompe presión: Este dispositivo sirve como disipador de energía.
- Válvulas de Aire: Evita la acumulación que puede entorpecer el flujo normal del fluido, al no contar con este dispositivo las pérdidas tienen a aumentar; el desplazamiento de estas masas de aire provoca golpes de ariete muy peligrosos, generalmente se ubican en los puntos más altos de la conducción.
- Válvulas de Purga: Estos dispositivos se instalan en los puntos más bajos de la conducción y de la red de distribución, sirven para eliminar los sedimentos que se acumulan en estos puntos (Corcho Romero, 2005).

Tabla 3.2 Ubicación de Válvulas y Tanques Rompe Presión

<b>VÁLVULAS DE PURGA CONDUCCIÓN</b>			
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COTA (msnm)</b>	<b>ABSCISA (m)</b>
	VP1	2981.70	0+166.23
	VP2	2916.83	0+655.40
	VP3	2653.21	3+955.00
<b>VÁLVULAS DE AIRE CONDUCCIÓN</b>			
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COTA (msnm)</b>	<b>ABSCISA (m)</b>
	VA1	3013.66	0+203.84
	VA2	2934.00	1+197.20
	VA3	2673	4+140.00
<b>TANQUES ROMPE PRESIÓN CONDUCCIÓN</b>			
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COTA (msnm)</b>	<b>ABSCISA (m)</b>
	TRP1	2960.30	0+485.40
	TRP2	2895.75	1+691.90
	TRP3	2835.80	1+961.10
	TRP4	2775.00	2+372.30
	TRP5	2711.80	3+163.40

### 3.2.1 Ecuación de la Energía

La energía que posee un fluido en movimiento está integrada por la energía interna y las energías debidas a la presión, velocidad y a su posición en el espacio.

(Ecuación 3.1)

$$\frac{\rho_1}{g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + HA - HL - HE = \frac{\rho_2}{g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2$$

**Donde:**

$\frac{\rho}{g}$ : Altura de Presión

$\frac{V^2}{2g}$ : Altura de Velocidad

z: Altura de Posición

HA: Energía Añadida

HL: Energía Perdida

HE: Energía Extraída.

### **3.2.2 Línea de Energía o de Alturas Totales:**

Esta línea tiene una pendiente decreciente en el sentido del flujo, excepto en las secciones donde se añade energía mediante dispositivos mecánicos, la línea de alturas totales es la representación gráfica de la energía de cada sección.

### **3.2.3 Línea Piezométrica:**

Se encuentra situada por debajo de la línea de alturas totales, en una cantidad igual a la altura de velocidades en la sección correspondiente, estas dos líneas son paralelas en todos los tramos en que las secciones rectas presentan la misma área; esta línea resulta de sumar la altura de posición más altura de presión (Giles, 1967).

### **3.2.4 Pérdidas de Carga (Darcy – Weisbach):**

Esta fórmula es utilizada para el cálculo de pérdidas de carga en las tuberías y conductos, mediante la siguiente expresión (Giles, 1967):

(Ecuación 3.2)

$$hf = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

L= Longitud de la Tubería (m)

d = Diámetro de la Tubería (m)

V= Velocidad (m/s)

f = Coeficiente de Fricción.

### 3.2.5 Número de Reynolds:

Es un número adimensional viene dado por el cociente de las fuerzas de inercia por las fuerzas debidas a la viscosidad; su fórmula es la siguiente:

(Ecuación 3.3)

$$Re = \frac{d \times V}{\nu}$$

Donde:

d = Diámetro de la Tubería (m)

V= Velocidad (m/s)

$\nu$  = Coeficiente de viscosidad cinemática ( $1.01 \times 10^{-6}$ ) Agua a 20 ° C

El coeficiente de fricción se calcula mediante la siguiente manera (Arapa, 2013):

(Ecuación 3.4)

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{K}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Donde:

D = Diámetro de la Tubería (m)

K: Rugosidad Absoluta de los Materiales (P.V.C  $k=0.0015$ )

Re: Número de Reynolds

### 3.2.6 Otras Pérdidas de Carga

Son las que se generan en los accesorios de las tuberías, se calcula mediante la siguiente expresión (Giles, 1967):

(Ecuación 3.5)

$$h (m) = K \frac{V^2}{2g}$$

Tabla 3.3 Resultados de la Línea de Conducción

CONDUCCIÓN 1						
INICIO	FIN	TRAMO	LONG. (m)	DIAMETRO NOMINAL (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	PRESIÓN DE TRABAJO
T JARUPA	TRP CAPTACIÓN COLICOPTO	0+000.00	93.77	40	36.2	1.25
		→ 0+093.77				
QUEBRADA	TRP CAPTACIÓN COLICOPTO	0+000.00	22.07	40	36.2	1.25
		→ 0+022.07				
TRP CAPTACIÓN COLICOPTO	T EXISTENTE	0+093.77 → 0+602.17	508.4	40	36.2	1.25
CONDUCCIÓN 2						
INICIO	FIN	TRAMO	LONG. (m)	DIAMETRO NOMINAL (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	PRESIÓN DE TRABAJO
T ZHIÑA	T EXISTENTE	0+000.00	517.9	40	36.2	1.25
		→ 0+517.90				
CONDUCCIÓN PRINCIPAL						
INICIO	FIN	TRAMO	LONG. (m)	DIAMETRO NOMINAL (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	PRESIÓN DE TRABAJO
T EXISTENTE	VP1	0+000.00	166.23	40	36.2	1.25
		→ 0+166.23				
VP1	VA1	0+166.23	37.61	40	36.2	1.25
		→ 0+203.84				
VA1	TRP1	0+203.84	281.56	40	36.2	1.25
		→ 0+485.40				
TRP1	VP2	0+485.40	170.00	40	36.2	1.25
		→ 0+655.40				

		0+655.40 → 1+197.20				
VP2	VA2		541.8	40	36.2	1.25
		1+197.20 → 1+691.90				
VA2	TRP2		494.7	40	36.2	1.25
		1+691.90 → 1+961.10				
TRP2	TRP3		269.2	40	36.2	1.25
		1+961.10 → 2+372.30				
TRP3	TRP4		411.2	40	36.2	1.25
		2+372.30 → 3+163.40				
TRP4	TRP5		791.1	40	36.2	1.25
		3+163.40 → 3+955.00				
TRP5	VP3		791.6	40	36.2	1.25
		3+955.00 → 4+140.00				
VP3	VA3		185	40	36.2	1.25
		4+140.00 → 4+280.70				
VA3	T RESERVA		140.79	40	36.2	1.25
VA: Válvula de Aire VP: Válvula de Purga TRP: Tanque Rompe Presión						

Los planos se encuentran en el Anexo 8, mientras que los resultados obtenidos en simulación para la conducción modelados en el programa Epanet y los cálculos de la línea piezométrica de la conducción se encuentran en el Anexo 9.

### 3.3 Diseño de la Plata de Tratamiento

#### 3.3.1 Diseño de Pretratamiento (Filtro Gueso Dinámico)

##### 3.3.1.1 Dimensionamiento FGD<sub>i</sub>

- **Número de Filtros (N)**, se debe considerar como mínimo dos unidades para realizar mantenimiento o para no interrumpir el servicio en caso de que un filtro falle.

➤ **Área total (At):**

(Ecuación 3.6)

$$At = \frac{Qd}{CH}$$

Donde:

Qd: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/h)

CH: Carga Hidráulica 24- 36 (m/d)

➤ **Área superficial de cada filtro (Asf):**

(Ecuación 3.7)

$$Asf = \frac{At}{N}$$

Donde:

At: Área total del filtro (m<sup>2</sup>)

N: Número de Unidades (u)

➤ **Diámetro del Filtro (D):**

(Ecuación 3.8)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Asf}{\pi}}$$

Donde:

Asf: Área Superficial de cada filtro (m<sup>2</sup>)

➤ **Altura del lecho del filtro (Hf):**

(Ecuación 3.9)

$$Hf = h0 + h1 + h2 + h3 + h4$$

Donde:

h0: Altura de soporte (m)

h1: Capa de Grava 1 (m)

h2: Capa de Grava 2 (m)

h3: Capa de Grava 3 (m)

h4: Altura de seguridad (m)

➤ **Altura del Vertedero Triangular o en “V”:**

Vertedero triangular de 90 el caudal se calcula con la siguiente expresión:

(Ecuación 3.10)

$$Q = 1.434 x h^{2.5}$$

(Ecuación 3.11)

$$h = \left( \frac{Q}{1.434} \right)^{2/5}$$

Resultados del vertedero Anexo 6.

➤ **Pérdidas de carga Ecuación de Rose (hf1):**

(Ecuación 3.12)

$$hf1 = 1.067 CD \frac{1}{e^4} \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

(Ecuaciones 3.13 y 3.14)

Donde:

$$CD = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34 \qquad Re = \frac{V d}{\nu}$$

Re: Numero de Reynolds

d: Diámetro en (mm)

L: Longitud de circulación (m)

V: Velocidad de circulación por el lecho

e: Coeficiente de porosidad

g: gravedad (m/s<sup>2</sup>)

v: viscosidad (m<sup>2</sup>/s)

➤ **Pérdidas en los orificios (hf2):**

(Ecuación 3.15)

$$hf2 = \frac{1}{2g} \left( \frac{Vb}{\alpha\beta} \right)^2$$

Donde:

Vb: Velocidad de circulación (m/s)

α: coeficiente de gasto en un orificio (0.61)

β: Relación del Área de los orificios entre el Área del lecho

g: gravedad (m/s<sup>2</sup>)

➤ **Pérdidas por Longitud Hazen Williams (hf3):**

(Ecuación 3.16)

$$hf3 = \frac{10.667 L}{D^{4.87}} \left( \frac{Ql}{C} \right)^{1.852}$$

Donde:

Ql: Caudal de lavado (m<sup>3</sup>/s)

D: Diámetro del tubo Principal

C: coeficiente de Hazen Williams

L: Longitud del Lecho (m)

➤ **Pérdidas en los Accesorios (hf4):**

(Ecuación 3.17)

$$hf4 = \sum K \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

K: coeficiente de cada accesorio

Vb: Velocidad en la tubería (m/s)

g: gravedad (m/s<sup>2</sup>)

➤ **Pérdidas de Carga por lavado (hf5):**

(Ecuación 3.18)

$$hf5 = 20 Vb L$$

Donde:

Vb: Velocidad de circulación (m/s)

L: Longitud del Lecho (m)

Resultados de las pérdidas de carga Anexo 6.

➤ **Caudal en los orificios (qo):**

(Ecuación 3.19)

$$qo = Ao x Vo$$

Donde:

Ao: Área de los orificios (m<sup>2</sup>)

Vo: Velocidad en los orificios (m/s)

➤ **Número de orificios (no):**

(Ecuación 3.20)

$$no = \frac{Ql}{qo}$$

Donde:

Ql: Caudal de lavado (m<sup>3</sup>/s)

qo: Caudal en los orificios (m<sup>3</sup>/s)

➤ **Número de orificios por tubería lateral (nol):**

(Ecuación 3.21)

$$nol = \frac{no}{nl}$$

Donde:

no: número de orificios (#)

nl: número de tuberías laterales (#)

➤ **Selección de la Tubería Lateral y Principal**

Se debe cumplir las siguientes condiciones:

(Ecuación 3.22)

$$\frac{Ao}{Al} = (0.15 - 0.50 \%)$$

Donde:

Ao: Área de los orificios (m<sup>2</sup>)

Al: Área del lecho (m<sup>2</sup>)

(Ecuación 3.23)

$$\frac{Ao}{A\phi l} = (0.30 - 0.50 \%)$$

Donde:

Ao: Área de los orificios (m<sup>2</sup>)

A $\phi$ l: Área de la tubería lateral (m<sup>2</sup>)

(Ecuación 3.24)

$$\frac{A_{\phi l}}{A_{\phi p}} = (0.30 - 0.50 \%)$$

Donde:

 $A_{\phi l}$ : Área de la tubería lateral (m<sup>2</sup>) $A_{\phi p}$ : Área de la tubería principal (m<sup>2</sup>) (Rojas, 2006)

La Memoria de cálculo de todos los filtros de la planta de tratamiento del sistema de agua potable se encuentra Anexo 7.

Tabla 3.4 Tabla de resultados de un Filtro Grueso Dinámico

TABLA DE RESUMEN DEL DISEÑO DE UN FGD <sub>i</sub>		
Número de filtros (N)	1	u
Área superficial de cada filtro (Asf)	3.33	m <sup>2</sup>
Longitud del Lecho (D)	2.06	m
Altura del lecho del filtro (Hf)		
Altura de soporte (h0)	0.15	m
Capa de Grava 1 (h1) (13 - 19 mm)	0.2	m
Capa de Grava 2 (h2) (6 - 13 mm)	0.2	m
Capa de Grava 3 (h3) (3 - 6 mm)	0.2	m
Altura de seguridad (h4 )	0.25	m
Altura Total	1	m
Sistema de tuberías de Recolección		
Número de orificios (no)	80	#
Número de tuberías laterales (nl)	4	#
Número de Orificios por lateral (nol)	20	#
Diametro de la tubería lateral (øl)	63	mm
Diametro de la tubería principal (øp)	90	mm
Comprobación		
$\frac{A_o}{A_l} = (0.15 - 0.50 \%)$	0.19	Cumple
$\frac{A_o}{A_{\phi l}} = (0.30 - 0.50 \%)$	0.49	Cumple
$\frac{A_{\phi l}}{A_{\phi p}} = (0.30 - 0.50 \%)$	0.49	Cumple

### 3.3.2 Diseño de Pretratamiento

#### 3.3.2.1 Dimensionamiento Filtros Ascendente en Capas

➤ **Área superficial de cada filtro (As):**

(Ecuación 3.25)

$$As = \frac{Qd}{N \times CH}$$

Donde:

Qd: Caudal de Diseño (m<sup>3</sup>/h)

CH: Carga Hidráulica 7 – 15 (m/d)

N: número de Unidades de Filtración (#)

➤ **Diámetro del Filtro (D):**

(Ecuación 3.26)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times As}{\pi}}$$

Donde:

As: Área Superficial (m<sup>2</sup>)

➤ **Caudal de lavado (Ql):**

(Ecuación 3.27)

$$Ql = As \times Vl$$

Donde:

As: Área superficial de cada Prefiltro (m<sup>2</sup>)

Vl: Velocidad de lavado (m/min)

**Nota:** la velocidad de lavado (20 m/h)

➤ **Altura total del Filtro Ascendente en Capas:**

(Ecuación 3.28)

$$HTF = h_0 + h_1 + h_2 + h_3$$

$h_0$ : Capa de lecho de soporte (m)

$h_1$ : Capas de Grava lecho filtrante (m)

$h_2$ : Altura Sobrenadante (m)

$h_3$ : Altura de seguridad

➤ **Comprobación de velocidades:**

(Ecuación 3.29)

$$\frac{V_p}{V_s} \leq 0.462$$

Donde:

$V_p$ : Velocidad en la tubería principal (m/s)

$V_s$ : Velocidad en la tubería secundaria (lateral) (m/s) (Marrón, 1999).

Tabla 3.5 Tabla de resultados de los Filtros Gruesos Ascendentes en capas en serie

TABLA DE RESUMEN DEL DISEÑO DE UN PFACS		
Número de filtros (N)	1	u
Área Superficial (As)	7.07	m <sup>2</sup>
Diámetro (D)	3	m
Area de la sección de descarga (Ac)	0.0262	m <sup>2</sup>
Número de Orificios (no)	240	#
Prefiltro en Capas Ascendente 1		
Capas	Espesor (m)	Tamaño (mm)
Capa Soporte (h0)	0.3	19.00 – 25.00 mm
Capa lecho Filtrante (h1)	0.45	13.00 – 19.00 mm
Capa lecho Filtrante (h2)	0.45	6.00 – 13.00 mm
Capa Sobrenadante (h3)	0.6	m
Altura del borde libre (h4)	0.2	m
Altura Total del Prefiltro 1	2	m
Prefiltro en Capas Ascendente 2		
Capas	Espesor (m)	Tamaño (mm)
Capa Soporte (h01)	0.2	13.00 – 19.00 mm
Capa Soporte (h02)	0.15	6.00 – 13.00 mm
Capa Soporte (h03)	0.45	3.00 – 6.00 mm
Capa lecho Filtrante (h1)	0.4	1.60 – 3.00 mm
Capa Sobrenadante (h2)	0.6	m
Altura del borde libre (h3)	0.2	m
Altura Total del Prefiltro 2	2	m
Número de Orificios por lateral (nol)	40	#
Diámetro de los orificios (øo)	10	mm
Diámetro de la tubería Lateral (øtl)	90	mm
Diámetro de la tubería Principal (øtp)	160	cm <sup>2</sup>
$\frac{A_o}{A_l} = (0.15 - 0.50 \%)$	0.27	Cumple
$\frac{A_o}{A_{\theta l}} = (0.30 - 0.50 \%)$	0.49	Cumple
$\frac{A_{\theta l}}{A_{\theta p}} = (0.30 - 0.50 \%)$	0.32	Cumple
$\frac{V_p}{V_s} \leq 0.462$	0.32	Cumple

### 3.3.3 Diseño de Filtro Lento de Arena

#### 3.3.3.1 Dimensionamiento FLA

➤ Área superficial (As):

(Ecuación 3.30)

$$As = \frac{Qd}{CH}$$

Donde:

Qd: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/día)

CH: Carga Hidráulica 2 -5 (m/d)

➤ **Área de cada filtro lento (Asf):**

(Ecuación 3.31)

$$Asf = \frac{As}{N}$$

➤ **Diámetro del Filtro Lento de Arena Circular (D):**

(Ecuación 3.32)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times As}{\pi}}$$

Donde:

As: Área Superficial (m<sup>2</sup>)

➤ **Altura Total del Filtro Lento de Arena (HTF):**

(Ecuación 3.33)

$$HTF = h_0 + h_1 + h_2 + h_3$$

Donde:

h<sub>0</sub>: Altura del Lecho Filtrante (m)

h<sub>1</sub>: Altura de Drenaje Incluido Capa de Grava (m)

h<sub>2</sub>: Altura de Agua Sobrenadante (m)

h<sub>3</sub>: Altura de Seguridad (m)

- **Sistema de Drenaje (SD):** El drenaje está conformado por tuberías perforadas dispuestas por un dren principal de diámetro (160 mm) y ramificaciones laterales de diámetro (110 mm). Los drenes laterales separados 90 cm entre centro y centro unidos mediante tees a la tubería principal, las laterales cuentan con orificios perforados de diámetro de 10 mm a una distancia de 10 cm uno del otro, dispuestos hacia la parte inferior de la sección a 45 ° (Cinara, 1992).

**Nota:** Para el resto de parámetros se emplea la misma formulación que se utilizó para el Filtro Grueso Dinámico.

Tabla 3.6 Tabla de resultados de los Filtros Lentos de Arena

TABLA DE RESUMEN DEL DISEÑO DE DOS FLA		
Número de filtros (N)	2	u
Área total (At)	30.33	m <sup>2</sup>
Área superficial de cada filtro (Asf)	15.9	m <sup>2</sup>
Longitud del Lecho (D)	4.5	m
Altura del lecho del filtro (Hf)		
Altura de soporte (h0)	0.3	m
Capa de Arena (h1)	0.8	m
Altura de sobrenadante (h4)	1	m
Altura de seguridad (h5 )	0.3	m
Sistema de tuberías de Recolección		
Número de orificios (no)	300	#
Número de tuberías laterales (nl)	5	#
Número de Orificios por lateral (nol)	60	#
Diámetro de la tubería lateral (øl)	110	mm
Diámetro de la tubería principal (øp)	160	mm
Comprobación		
$\frac{A_o}{A_l} = (0.15 - 0.50 \%)$	0.15	Cumple
$\frac{A_o}{A_{\delta l}} = (0.30 - 0.50 \%)$	0.5	Cumple
$\frac{A_{\delta l}}{A_{\delta p}} = (0.30 - 0.50 \%)$	0.47	Cumple

### 3.3.4 Diseño de la Mezcla Rápida

- **Altura de la lámina de agua sobre el vertedero (h):**

(Ecuación 3.34)

$$h = \left[ \frac{Q}{1.4} \right]^{0.4}$$

Donde:

Q: Caudal de Diseño

- **Ancho de la lámina vertiente y ancho del canal (L= B):**

(Ecuación 3.35)

$$L = 2h$$

- **Caudal unitario promedio (q):**

(Ecuación 3.36)

$$q = \frac{Q}{B}$$

- **Altura crítica (hc):**

(Ecuación 3.37)

$$hc = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Donde:

g: gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

- **Altura al inicio del resalto (h1):**

(Ecuación 3.38)

$$h1 = \frac{1.41 hc}{\sqrt{2.56 + \frac{P}{hc}}}$$

Donde:

P: Altura desde el vértice del vertedero al fondo del canal aguas abajo.

➤ **Velocidad al inicio del Resalto ( $v_1$ ):**

(Ecuación 3.39)

$$v_1 = q/h_1$$

➤ **Número de Froude ( $F_1$ ) (rango de 4 a 5):**

(Ecuación 3.40)

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g h_1}}$$

➤ **Altura de agua después del resalto ( $h_2$ ):**

(Ecuación 3.41)

$$h_2 = \frac{h_1}{2} [\sqrt{1 + 8F_1} - 1]$$

➤ **Velocidad al final del resalto ( $v_2$ ):**

(Ecuación 3.42)

$$v_2 = q/h_2$$

➤ **Energía disipada en el resalto ( $h_p$ ):**

(Ecuación 3.43)

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

➤ **Longitud del resalto ( $L_m$ ):**

(Ecuación 3.44)

$$L_m = 6(h_2 - h_1)$$

➤ **Distancia del vertedero a la sección (1) ( $L^1$ ):**

(Ecuación 3.45)

$$L^1 = 4.3 P \left[ \frac{hc}{P} \right]^{0.9}$$

➤ **Velocidad promedio en el resalto (vm):**

(Ecuación 3.46)

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

➤ **Tiempo de Mezcla (t):**

(Ecuación 3.46)

$$t = \frac{L_m}{V_m}$$

➤ **Gradiente de velocidad (G):**

(Ecuación 3.47)

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu} \frac{h_p}{t}}$$

Donde:

$\gamma$ : Peso específico del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$ : Coeficiente de viscosidad (1.17x 10<sup>-4</sup>)

t: tiempo de mezcla (OPS O. P., 1992).

Tabla 3.7 Table de Resultados de Mezcla Rapida

<b>TABLA RESUMEN DE MEZCLA RAPIDA</b>		
Altura de la lamina de agua sobre el vertedero	40	mm
Dimensiones (Ancho de la lamina B=L)	5	cm
Altura desde el vértice del vertedero al fondo del canal aguas a bajo	80	cm
Número de Froud	9.93	
Tiempo de la Mezcla	4	min
Longitud de la Camara de Salida	40	cm
Gardiente de Velocidad	1051.56	s-1

### 3.3.5 Diseño de Floculador de Medio Poroso

#### 3.3.5.1 Dimensionamiento

➤ **Tiempo de retención en la unidad de medio poroso**

(Ecuación 3.48)

$$T = T_j \frac{\left[ \ln\left(\frac{T_o}{T_f}\right) \right]}{\left[ \frac{T_o}{T_f} - 1 \right]}$$

Donde:

T<sub>j</sub>: Tiempo (Dato de Prueba de Jarras)

T<sub>o</sub>: Turbiedad del agua cruda

T<sub>f</sub>: Turbiedad después de flocular y sedimentar

T : Tiempo de Retención en una unidad de medio poroso

➤ **Volumen total del Floculador de Piedra:**

(Ecuación 3.49)

$$V = 60 \frac{Q T}{\varepsilon}$$

Donde:

Q: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

T: Tiempo de Floculación (min)

ε: Porosidad

Tabla 3.8 Factores de forma y porosidad de materiales granulares típicos

Descripción	Factor de Forma φ	Porosidad ε
Esférico	1.00	0.38
Redondeado	0.98	0.38
Desgastado	0.94	0.39
Agudo	0.81	0.40
Angular	0.78	0.43
Triturado	0.70	0.48

Fuente: Organización Panamericana de la Salud “Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de filtración rápida, Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada”

**Altura de la sección prismática ocupada por las piedras:**

(Ecuación 3.50)

$$h = (V - \frac{1}{3} B^2 H) / B^2$$

Donde:

V: Volumen del Floculador (m<sup>3</sup>)

B: Ancho de la unidad (m)

H: Altura de la unidad (m)

➤ **Velocidades en la sección de entrada, media y máxima:**

(Ecuación 3.51)

$$V1 = 100 \frac{Q}{b1^2}$$

(Ecuación 3.52)

$$V2 = 100 \frac{Q}{b2^2}$$

(Ecuación 3.53)

$$V3 = 100 \frac{Q}{B^2}$$

Donde:

b 1= Ancho en la sección entrada (m)

b 2 = Ancho en la sección media (m)

B = Ancho en la sección máxima (m)

Q: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

➤ **Coefficientes de la fórmula de Forchheimer:**

(Ecuación 3.54)

$$a = \frac{[0.162 (1 - \varepsilon)^2]}{\varphi^2 D^2 \varepsilon^2}$$

(Ecuación 3.55)

$$b = \frac{0.018 (1 - \varepsilon)}{\varphi D \varepsilon^3}$$

Donde:

D: Tamaño medio del material granular (15.9 mm).

➤ **Perdida de carga unitaria en la sección de entrada, media y máxima:**

(Ecuación 3.56)

$$J1 = a V1 + b V1^2$$

(Ecuación 3.57)

$$J2 = a V2 + b V2^2$$

(Ecuación 3.58)

$$J3 = a V3 + b V3^2$$

➤ **Gradiente en la sección de entrada, media y máxima:**

(Ecuación 3.59)

$$G1 = \sqrt{\frac{\gamma \cdot v1 \cdot J1}{\mu \cdot \varepsilon}}$$

(Ecuación 3.60)

$$G2 = \sqrt{\frac{\gamma \cdot v2 \cdot J2}{\mu \cdot \varepsilon}}$$

(Ecuación 3.61)

$$G3 = \sqrt{\frac{\gamma \cdot v3 \cdot J3}{\mu \cdot \varepsilon}}$$

(OPS O. P., 2006)

Tabla 3.9 Tabla de resultados de Floculador de Medio Poroso

<b>TABLA RESUMEN DEL FLOCULADOR DE MEDIO POROSO</b>		
Tiempo de Retención en la Unidad de Floculación	6.5	min
Volumen total del Floculador		m <sup>3</sup>
ε : Porosidad	0.4	
D : Diámetro de la Partícula	15.9	mm
φ: Factor de Forma		
Coeficientes de Forcheimer		
Coeficiente a	0.0054938	s/cm
Coeficiente b	0.0131027	s <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>
Dimensiones		
En la Base (b1)	0.2	m
En la parte Media (b2)	0.4	m
En la parte Superior (B)	0.8	m
Velocidades		
En la Base (v1)	1.35	cm/s
En la parte Media (v2)	0.338	cm/s
En la parte Superior (v3)	0.08	cm/s
Perdidas de Carga		
En la Base (j1)	0.031296354	
En la parte Media (j2)	0.003346642	
En la parte Superior (j3)	0.00055682	
Gradientes		
En la Base (G1)	95.0	s-1
En la parte Media (G2)	15.5	s-1
En la parte Superior (G3)	3.2	s-1
Altura de la Sección Prismática (h)	1.4	m

### 3.3.6 Diseño de Sedimentador de Flujo Horizontal

#### 3.3.6.1 Dimensionamiento

➤ **Área superficial (As):**

(Ecuación 3.62)

$$As = \frac{Q}{Cs}$$

Donde:

Q: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/d)

Cs: Carga superficial (2 a 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. día)

➤ **Relación Largo/Ancho:**

(Ecuación 3.63)

$$\frac{L}{B} = (3 \text{ a } 6)$$

➤ **Relación Largo/ Profundidad:**

(Ecuación 3.64)

$$\frac{L}{H} = (5 \text{ a } 20)$$

➤ **Velocidad Horizontal (VH):**

(Ecuación 3.65)

$$V_H = \frac{100 \times Q}{B \times H}$$

Donde:

Q: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

B: Ancho de la unidad (m)

➤ **Tiempo de Retención en Horas (To):**

(Ecuación 3.66)

$$T_o = \frac{A_s \times H}{3600 \times Q}$$

Donde:

As: Área superficial (m<sup>2</sup>)

H: Profundidad de la unidad (m)

Q: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

➤ **Área de los Orificios (Ao):**

(Ecuación 3.67)

$$A_o = \frac{Q}{V_o}$$

Donde:

Q: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

V<sub>o</sub>: Velocidad en los orificios (m/s) ver tabla 2.14

➤ **Número de Orificios (no):**

(Ecuación 3.68)

$$no = \frac{A_o}{a_o}$$

Donde:

A<sub>o</sub>: Área total de orificios (m<sup>2</sup>)

a<sub>o</sub>: Área de cada orificio (m<sup>2</sup>) (OPS O. P., 2005)

Tabla 3.10 Tabla de resultados del Sedimentador de Flujo Horizontal

<b>TABLA RESUMEN SEDIMENTADOR</b>		
Área del Sedimentador (A <sub>s</sub> )	5	m <sup>2</sup>
Largo (L)	5	m
Ancho (B)	1	m
Profundidad (H)	1.5	m
L/B (3 a 6)	Cumple	
L/H (5 a 20)	Cumple	
Velocidad Horizontal (V <sub>H</sub> )	0.05401	m/s
Tiempo de Retención (T <sub>o</sub> )	2.57	horas
Área de Orificios (A <sub>o</sub> )	36.01	cm <sup>2</sup>
Número de Orificios (no)	12	u

Los planos de la Captación y Planta de Tratamiento de las dos alternativas se encuentran en el Anexo 8.

### 3.3.7 Cloración

Para la obtención de agua potable hay que desinfectarla y liberarla de bacterias y microorganismos, que pueden ser nocivos para la salud, el mejor agente químico para realizar esta actividad es el cloro. El hipoclorito de sodio NaOCl es la solución

relativamente más barata y fácil de dosificar para la desinfección del agua de consumo humano.

Para calcular la cantidad adecuada de cloro líquido se utiliza la siguiente fórmula:

(Ecuación 3.69)

$$q = \frac{Q * D}{C * 10}$$

Donde:

q = caudal de la solución desinfectante aplicarse

Q = caudal a tratarse (obtenido por aforo a la entrada)

D: dosis a lograrse en mg/litro

C: concentración % de cloro disponible en la solución de hipoclorito

10: valor constante (Aquaquimi, 2016)

Calculo:

$$q = \frac{0.5401 \frac{l}{s} * 1.5 \frac{mg}{l}}{0.030 * 10} = 2.7 \frac{mg}{s} \rightarrow 162 \text{ cc/min}$$

Según las especificaciones proporcionadas por la compañía Clorid S.A el equipo Clorid L-10 produce 125 g/d con lo cual satisface nuestra demanda de 69,99 g/d.

Datos técnicos del equipo Clorid L-10 que se utilizara para la desinfección:

Tabla 3.11 Clorid S.A. (Catálogo del fabricante)

<b>Clorid L-10</b>	
<b>Modelo :</b>	Clorid L-10
Capacidad de producción :	125 g/día de cloro activo Nominal
Modo de producción :	Bacheo en 24 horas
Capacidad de producción :	Variable en función de poder modificar la corriente
Rango de control de generación :	20 – 100 %
Cloro activo :	12,5 gramos / litro
Fuente de corriente continua :	5.2 V / 15 A
Condiciones ambientales :	
Temperatura :	Máximo 45 ° C
Unidad :	Máximo 95 %
Clima :	Tropical
Clasificación de riesgo :	No clasificada
Instalación :	Albergado
Calidad de sal :	Sal grado 330 g/día
Consumo teórico :	330 gramos de sal / Kg. de cloro activo – 125g / día (para una operación de 24 horas en plena carga del equipo)
<b>TRANSFORMADOR / RECTIFICADOR</b>	
Circuito :	Monofásico
Tensión de alimentación :	110 V / 60 HZ
Tensión de salida :	5,2 V
Corriente de salida :	7,5 A
<b>Requisitos de energía eléctrica</b>	
Consumo Teórico :	Aprox. 39 w/h.
<b>Requisitos de alimentación de agua</b>	
Presión :	
Dureza :	ate 50 ppm
Paso necesario :	ate Bacheo
Nota: El agua debe ser filtrada y libre de residuos	
Recomendamos tener un espacio libre de 0,60 x 1,00 metro alrededor de cada Equipo para la circulación y el mantenimiento de este.	

Tabla 3.12 Comparación de Alternativas de Tratamiento

<b>ALTERNATIVA 1 TRATAMIENTO FIME</b>				
<b>FILTRO GRUESO DINAMICO (FGDi)</b>	<b>ESTRUCTURA DE ENTRADA</b>	<b>AREA</b>	<b>2.55</b>	<b>M2</b>
	DIAMETRO		2.06	M
	<b>AREA FILTRO DINAMICO</b>		<b>3.33</b>	<b>M2</b>
	NUMERO DE FGDi		1	U
	<b>ESTRUCTURA DE SALIDA</b>	<b>AREA</b>	<b>1.21</b>	<b>M2</b>
<b>FILTRO GRUESO GRUESO ASCENDENTE EN CAPAS (FGAC)</b>	<b>ESTRUCTURA DE ENTRADA</b>	<b>AREA</b>	<b>3.66</b>	<b>M2</b>
	DIAMETRO		3	M
	<b>AREA (FGAC)</b>		<b>7.07</b>	<b>M2</b>
	NUMERO DE FGAC		2	U
	<b>AREA FILTROS ASCENDENTES</b>		<b>14.14</b>	<b>M2</b>
<b>FILTROS LENTOS DE ARENA (FLA)</b>	<b>ESTRUCTURA DE ENTRADA</b>	<b>AREA</b>	<b>3.03</b>	<b>M2</b>
	DIAMETRO		4.5	M
	<b>AREA (FLA)</b>		<b>15.9</b>	<b>M2</b>
	NUMERO DE FLA		2	U
	<b>AREA FILTROS LENTOS</b>		<b>31.8</b>	<b>M2</b>
	<b>ESTRUCTURA DE SALIDA</b>	<b>AREA</b>	<b>7.52</b>	<b>M2</b>
<b>AREA TOTAL ALTERNATIVA 1</b>			<b>70.62</b>	<b>M2</b>
<b>ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO 2 TRATAMIENTO CONVENCIONAL</b>				
<b>FILTRO GRUESO DINAMICO (FGDi)</b>	<b>ESTRUCTURA DE ENTRADA</b>	<b>AREA</b>	<b>2.55</b>	<b>M2</b>
	DIAMETRO		2.06	M
	<b>AREA FILTRO DINAMICO</b>		<b>3.33</b>	<b>M2</b>
	NUMERO DE FGDi		1	U
	<b>ESTRUCTURA DE SALIDA</b>	<b>AREA</b>	<b>1.21</b>	<b>M2</b>
<b>MEZCLA RAPIDA</b>	LARGO (L)		1.05	M
	ANCHO (B)		0.5	M
	<b>AREA DE LA MEZCLA</b>		<b>0.53</b>	<b>M2</b>
	NUMERO DE MEZCLAS		1	U
<b>FLOCULADOR DE MEDIO POROSO</b>	LARGO (L)		1	M
	ANCHO (B)		1	M
	<b>AREA DEL FLOCULADOR</b>		<b>1</b>	<b>M2</b>
	NUMERO DE FLOCULADORES		1	U
	<b>ESTRUCTURA DE SALIDA</b>	<b>AREA</b>	<b>1.2</b>	<b>M2</b>

<b>SEDIMENTADOR DE FLUJO HORIZONTAL</b>	<b>ESTRUCTURA DE ENTRADA</b>	<b>AREA</b>	<b>2.57</b>	<b>M2</b>
	<b>ESTRUCTURA DE LODOS</b>	<b>AREA</b>	<b>1.72</b>	<b>M2</b>
	<b>ESTRUCTURA DE SEDIMENTACION</b>	<b>AREA</b>	<b>12.13</b>	<b>M2</b>
	<b>ESTRUCTURA DE SALIDA</b>	<b>AREA</b>	<b>1.47</b>	<b>M2</b>
	NUMERO DE SEDIMENTADORES		2	U
<b>FILTROS LENTOS DE ARENA (FLA)</b>	<b>ESTRUCTURA DE ENTRADA</b>	<b>AREA</b>	<b>3.03</b>	<b>M2</b>
	DIAMETRO		4.5	M
	AREA (FLA)		<b>15.9</b>	<b>M2</b>
	NUMERO DE FLA		2	U
	<b>AREA FILTROS LENTOS</b>		<b>31.8</b>	<b>M2</b>
	<b>ESTRUCTURA DE SALIDA</b>	<b>AREA</b>	<b>7.52</b>	<b>M2</b>
<b>AREA TOTAL ALTERNATIVA 2</b>			<b>70.06</b>	<b>M2</b>

### 3.4 Diseño de la red de distribución

La red de distribución es un conjunto de conductos cerrados a través de los cuales se transporta agua bajo presión a los diferentes puntos de consumo, según la norma (NORMA CO 10.7-602) las de distribución debe satisfacer el consumo máximo horario, para la simulación de la red de distribución se empleó el programa Epanet, cumpliendo con los parámetros que se encuentran especificados en la sección 2.2, para poblaciones pequeñas se considera innecesario y antieconómico proyectar protección contra incendio.

Para nuestro caso se utilizó una red de tipo ramificada, estas redes están constituidas por un ramal o troncal y una serie de ramificaciones que terminan en puntos ciegos o en pequeñas mallas, este tipo de red se adapta a poblaciones veredales, donde por razones topográficas no es económico no técnico interconectar los ramales. También se adaptan a las poblaciones que se desarrollan a lo largo de una vía o un río (Corcho Romero, 2005).

La modelación de los ramales se empleó una alternativa de esqueletizar los mismos para reducir ramales complicados en un nudo (Arnolich, 2007); y de esta manera modelar solo la red principal; para el caso de las viviendas localizadas antes de la

planta de tratamiento es necesario implementar un sistema de bombeo desde el tanque de reserva hasta un almacenamiento de 2.5 m<sup>3</sup> (tanque tipo botella) para abastecer en horas de máximo consumo, para el cálculo de las pérdidas de carga en la tubería utilizada para bombeo se empleó la fórmula de Darcy Weisbach (Sección 3.2.4).

Tabla 3.13 Resultados de los Ramales Principales de la Red de Distribución

RAMAL 1 A						
INICIO	FIN	TRAMO	LONG. (m)	DIAMETRO NOMINAL (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	PRESIÓN DE TRABAJO
T RESERVA	TRP 1 EXISTENTE	0+000.00 → 0+267.83	267.83	40	36.2	1.25
TRP 1 EXISTENTE	TRP2	267.83+0.00 → 0+890.30	622.47	25	22	1.6
TRP2	TRP3	0+890.30 → 1+203.10	312.8	25	22	1.6
TRP3	TRP4	1+203.10 → 1+620.10	417	25	22	1.6
TRP4	FIN	1+620.10 → 1+931.10	311	25	22	1.6
RAMAL 1 B						
INICIO	FIN	TRAMO	LONG. (m)	DIAMETRO NOMINAL (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	PRESIÓN DE TRABAJO
TRP 3 (RAMAL 1A)	TRP 1	0+000.00 → 0+098.38	98.38	25	22	1.6
TRP 1	Y1	0+098.38 → 0+151.51	53.13	25	22	1.6
Y1 (RAMAL 1B)	TRP2	0+151.51 → 0+359.01	207.5	25	22	1.6
TRP2	FIN	0+359.01 → 0+451.45	92.44	25	22	1.6
RAMAL 2 A						
INICIO	FIN	TRAMO	LONG. (m)	DIAMETRO NOMINAL (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	PRESIÓN DE TRABAJO

T RESERVA	Y1	0+000.00 → 0+043.87	43.87	25	22	1.6
Y1	TRP1	0+043.87 → 0+473.49	429.62	25	22	1.6
TRP1	TRP2	0+473.49 → 0+736.42	262.93	25	22	1.6
TRP2	FIN	0+736.42 → 0+994.43	258	25	22	1.6
<b>RAMAL 2 B</b>						
INICIO	FIN	TRAMO	LONG. (m)	DIAMETRO NOMINAL (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	PRESIÓN DE TRABAJO
Y1 (RAMAL 2A)	FIN	0+043.87 → 0+300.14	300.14	25	22	1.6
<b>RAMAL 3 A</b>						
INICIO	FIN	TRAMO	LONG. (m)	DIAMETRO NOMINAL (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	PRESIÓN DE TRABAJO
TRP EXISTENTE	TRP1	0+000.00 → 0+221.68	221.68	40	36.2	1.25
TRP1	TRP2	0+422.70 → 0+422.70	201.02	40	36.2	1.25
TRP2	TRP3	0+422.70 → 0+673.3	250.5	40	36.2	1.25
TRP3	Y1	0+673.20 → 0+930.50	257.3	40	36.2	1.25
Y1	TRP4	0+930.50 → 1+016.09	85.59	40	36.2	1.25
TRP4	Y2	0+1016.09 → 1+275.33	259.24	40	36.2	1.25
Y2	VP1	1+275.33 → 1+460.00	184.67	40	36.2	1.25
VP1	FIN	1+460.00 → 1+811.23	351.23	40	36.2	1.25

<b>RAMAL 3 B</b>						
INICIO	FIN	TRAMO	LONG. (m)	DIAMETRO NOMINAL (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	PRESIÓN DE TRABAJO
Y1 (RAMAL 3A)	TRP1	0+000.00 → 0+056.83	56.83	40	36.2	1.25
TRP1	FIN	0+053.83 → 0+526.20	469.37	40	36.2	1.25
<b>RAMAL 3 C</b>						
INICIO	FIN	TRAMO	LONG. (m)	DIAMETRO NOMINAL (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	PRESIÓN DE TRABAJO
TRP1	Y2	0+000.00 → 0+138.55	138.55	32	29	1.25
Y2	FIN	0+138.56 → 0+702.23	563.68	32	29	1.25
<b>RAMAL 3 D</b>						
INICIO	FIN	TRAMO	LONG. (m)	DIAMETRO NOMINAL (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	PRESIÓN DE TRABAJO
Y2 (RAMAL 3C)	FIN	0+000.00 → 0+115.42	115.42	32	29	1.25
<b>RAMAL 3 E</b>						
INICIO	FIN	TRAMO	LONG. (m)	DIAMETRO NOMINAL (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	PRESIÓN DE TRABAJO
Y2 (RAMAL 3A)	FIN	0+000.00 → 0+455.97	455.97	25	22	1.6

<b>RAMAL BOMBA</b>						
T RESERVA	T ALMACENAMINETO	0+000.00 → 0+664.2	664.2	25	22	1.6
T ALMACENAMIENTO	FIN	0+000.00 → 0+329.30	329.3	25	22	1.6

VP: Válvula de Purga TRP: Tanque Rompe Presión Y: Accesorio Tee  
 Nota: Se respetaron los Tanques Rompe Presión Existentes.

Se colocaron dispositivos a lo largo del trayecto de la red de distribución que se encuentra dividida por ramales para así evitar que se produzcan problemas en las tuberías:

Tabla 3.14 Dispositivos de la Red de Distribución

<b>TANQUES ROMPE PRESIÓN DISTRIBUCIÓN</b>			
	<b>RAMAL 1 A</b>		
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COTA (msnm)</b>	<b>ABSCISA (m)</b>
	TRP1 EXISTENTE	2612.23	0+267.83
	TRP2	2542.00	0+890.30
	TRP3	2473.00	1+203.10
	TRP4	2414.00	1+620.10
	<b>RAMAL 1 B</b>		
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COTA (msnm)</b>	<b>ABSCISA (m)</b>
	TRP1	2437	0+098.38
	TRP2	2370	0+359.01
	<b>RAMAL 2 A</b>		
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COTA (msnm)</b>	<b>ABSCISA (m)</b>
	TRP1	2591.02	0+473.49
	TRP2	2516.00	0+736.42
	<b>RAMAL 3 A</b>		
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COTA (msnm)</b>	<b>ABSCISA (m)</b>
	TRP1	2562.25	0+221.68
	TRP2 EXISTENTE	2504.60	0+422.70
	TRP3 EXISTENTE	2414.14	0+673.20
	TRP4	2369.00	1+116.78
<b>RAMAL 3 B Y 3 C</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COTA (msnm)</b>	<b>ABSCISA (m)</b>	
TRP1	2353.83	0+053.83	
<b>VÁLVULAS DE PURGA CONDUCCIÓN</b>			
	<b>RAMAL 3 A</b>		
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COTA (msnm)</b>	<b>ABSCISA (m)</b>
	VP1	2316.00	1+460.00

Los planos de la red de distribución se encuentran en el Anexo 8; mientras que los resultados de la modelación obtenidos mediante el programa Epanet, cálculos del sistema de bombeo y línea piezométrica de los ramales principales están en el Anexo 10.

### 3.5 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

#### 3.5.1 Mantenimiento de Galerías de Infiltración

Según Truman W. Bennett (1979), cuando una galería se construye adecuadamente, el funcionamiento de la misma no debe presentar problemas y sobre todo no necesita mantenimiento. La falla más común en las galerías de infiltración se presenta en el foro filtrante, por la penetración de finos en el forro de grava y en el conducto, esto se puede dar también por una inadecuada selección de la granulometría del filtro o colocación equivocada al momento de la construcción. Cuando esto se da es difícil darle un mantenimiento efectivo, la solución sería remover el filtro y remplazarlo por otro. Para realizar la limpieza interior de un conducto se la puede hacer con herramientas manuales de manera sencilla (Montemayor, 1979).

#### 3.5.2 Mantenimiento de Filtro Grueso Dinámico

Tabla 3.15 Mantenimiento Filtros Gruesos Dinámicos

Actividades	Acciones Claves
Lavar las cámaras de entrada y salida (una vez a la semana)	Remover el material adherido a las paredes y al fondo de las cámaras.
Limpiar la capa superficial de grava (una o dos veces por semana)	Cerrar la válvula de entrada y salida de agua filtrada; y abrir la válvula de bypass hacia el siguiente filtro. Remover con un rastrillo u otro elemento similar, el lecho de grava superficial, en sentido contrario del flujo, iniciando en la zona de entrada y finalizando en el vertedero de rebose. Remover la grava hasta que el agua de lavado sea ópticamente similar al agua cruda.
Limpieza del fondo del filtro (una vez a la semana)	Llenar la cámara de filtración con agua cruda y abrir y cerrar 10 veces consecutivas la válvula y drenar (válvula de apertura rápida) el filtro hasta que el agua de lavado sea ópticamente similar al agua cruda. Este procedimiento puede repetirse por 2 o 3 ocasiones, cuando el agua de lavado sea muy diferente al agua cruda.

Actividades Eventuales	Acciones Claves
Retiro y lavado total de la grava	<p>Cerrar la válvula de entrada y salida de agua filtrada</p> <p>Retirar las capas de grava cuidando que estas no se mezclen entre si.</p> <p>Lavar en forma separada las capas de grava .</p> <p>Tamizar las fracciones de grava que pueden estar mezcladas.</p> <p>Lavar las tuberías, el fondo y las paredes del filtro</p> <p>Instalar las capas de grava en el mismo orden y con igual espesor al que tenían antes de ser retirados para el lavado.</p> <p>Abrir el retrolavado de agua y realizar un lavado siguiendo las indicaciones antes mencionadas.</p>

Fuente: (Cinara,1999)

### 3.5.3 Mantenimiento de Filtros Gruesos Ascendentes en Capas

Tabla 3.16 Puesta en Marcha, Limpieza Hidráulica de Filtros Gruesos Ascendentes en Capas

Actividades	Acciones Claves
<b>Puesta en Marcha</b>	Procedemos a llenar filtro, para esto debe estar cerrada la válvula de desagüe y luego abrimos ligeramente la válvula de ingreso para que el caudal no arrastre solidos que se encuentran en el lecho filtrante; aumentamos paulatinamente el caudal hasta que alcance el llenado del filtro.
<b>Operación normal de filtrado</b>	El filtro constantemente va a estar funcionado con la válvula de entrada y salida abiertas y la válvula de desagüe permanece cerrada. Cuando sea necesario se debe retirar elementos flotantes (algas).
<b>Limpieza hidráulica</b>	Este proceso se realiza pro descarga descendente, es decir las partículas que han sido retenidas por la grava son arrastradas por este caudal. Este proceso se lo debe hacer repetitivamente hasta que el agua de lavado salga clara. Se debe evitar que el filtro este vacío durante mucho tiempo porque las partículas se pueden adherir y

	compactar con la grava, dificultando el lavado hidráulico. Para evitar esta compactación se debe hacer una limpieza hidráulica aproximadamente cada semana en épocas de lluvias (alta turbidez), o cada dos meses en épocas de sequía (baja turbidez).
<b>Procedimiento para realizar el lavado hidráulico:</b>	<p>a) Cerramos la válvula de ingreso y abrimos la de desagüe.</p> <p>b) Esperamos hasta que el filtro se haya descargado completamente.</p> <p>c) Volvemos a llenar el filtro con un caudal moderado, para evitar para que este arrastre los sólidos acumulados en el lecho filtrante.</p> <p>d) Si el agua de limpieza ha salido turbia, repetimos el proceso.</p>

Fuente: (Marrón, Plantas de Tratamiento de Filtración Lenta; Diseño, Operación y Mantenimiento, 1999)

Tabla 3.17 Limpieza Manual de Filtros Gruesos Ascendentes en Capas

<b>Actividades</b>	<b>Acciones Claves</b>
<b>Limpieza manual</b>	Al realizar la limpieza hidráulica, llega un momento en el que ya no se elimina el material acumulado en el lecho filtrante, por que se encuentra adherida a la grava. Por lo que se tiene que hacer una limpieza manual (una vez al año después de la época de lluvia).
<b>Procedimiento</b>	Extraer la capa superior de grava y lavar en un deposito con agua, para realizar este procedimiento el mejor proceso es agitar mecánicamente en un depósito para que se desprendan todas las partículas adheridas a todas las paredes de la grava; otra opción sería utilizar un cilindro acondicionado; en este cilindro existe una manguera de ingreso de agua limpia donde una vez restregado la grava con la ayuda de un palo, por la manguera de salida ubicada en la parte superior del cilindro se lleva el agua con las impurezas desprendidas de la grava. Proceder de la misma manera con la siguiente capa,

	<p>teniendo cuidado que no se mezclen las gravas de las diferentes capas, si por alguna razón se llegaron a mezclar se debe hacer un nuevo cribado para separarlas. El filtro siempre debe contener agua para evitar la compactación del material filtrado en las paredes de la grava, una vez que el prefiltro está vacío escobillar las paredes y reacomodar los ladrillos ubicados en el fondo. Después del lavado reinstalar con cuidado cada una de las capas de grava para evitar posibles contaminaciones.</p>
--	---

Fuente: (Marrón, Plantas de Tratamiento de Filtración Lenta; Diseño, Operación y Mantenimiento, 1999)

Tabla 3.18 Mantenimiento Filtros Gruesos Ascendentes en Capas

<b>Actividades</b>	<b>Acciones Claves</b>
<b>Mantenimiento de los Filtros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Cortamos la maleza, arbustos y árboles alrededor de los filtros.</li> <li>b) Protegemos el suelo contra la erosión.</li> <li>c) Reparamos las grietas en las paredes de la estructura.</li> <li>d) Revisamos las válvulas y engrasamos si es necesario.</li> <li>e) Finalmente extraemos elementos flotantes en la capa de agua</li> </ul>

Fuente: (Marrón, Plantas de Tratamiento de Filtración Lenta; Diseño, Operación y Mantenimiento, 1999)

### 3.5.4 Mantenimiento de Filtros Lentos de Arena

**3.5.4.1 Función del Operador:** La función principal del operador, es la de brindar agua de bajo riesgo sanitario y sobre todo de manera continua a la comunidad. Para esto deberá garantizar una correcta operación y mantenimiento de todo el sistema, dependiendo del tamaño del mismo, capacidad de pago y organización de la comunidad esta función la puede hacer una o varias personas conocidas como operadores. Esta persona debe estar dotada de las herramientas necesarias, disponer de materiales adecuados para afrontar eventualidades que se puedan presentar en el sistema. La persona destinada al cargo de operador en lo posible debe haber participado en la construcción de la obra, se deberá tener un control periódico de la salud de los operadores para garantizar que no se transmitan enfermedades entéricas al manipular los filtros, por ejemplo, el cólera (Cinara F. L., 1992).

Dentro de las funciones que desempeña el operador esta también el mantenimiento del sistema de distribución y la reparación de grifos, otro aspecto importante es la información que brinda el operador a los usuarios sobre la importancia del agua tratada y su almacenamiento adecuado, ya que si el agua purificada se recoge en recipientes sucios esta se contaminara, disminuyendo parcial o totalmente el esfuerzo del operador (Cinara F. L., 1992).

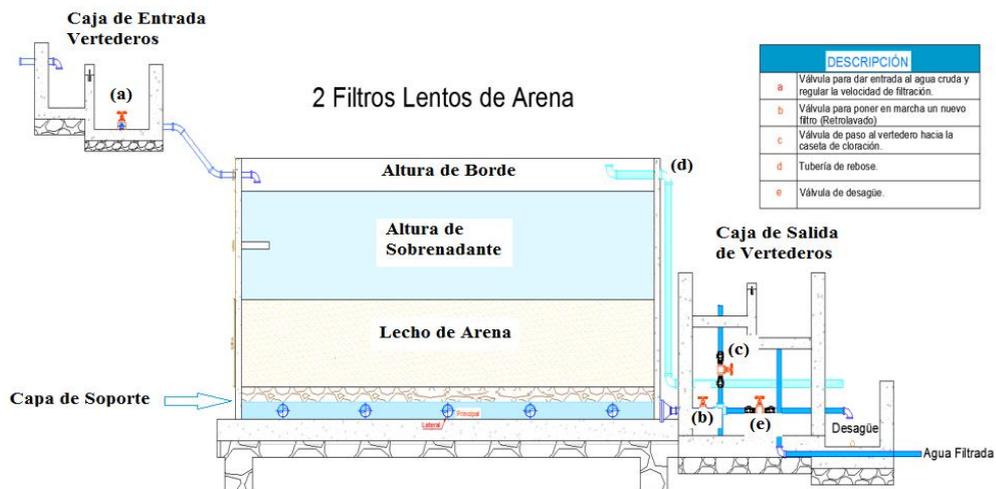


Figura 3.5 Filtro Lento con Control a la Entrada

Fuente: (Filtración Lenta en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades, 1992)

Tabla 3.19 Procedimientos para poner en servicio un filtro nuevo Figura 3.5

Procedimientos	Detalles
Llenar con agua por el fondo	Abrir la conexión (b) y cerrar la (c) (e) hasta que el agua aparezca sobre la superficie de arena.
Corregir la nivelación de la superficie de arena	Abrir la válvula (e) para hacer descender el nivel de agua hasta 0,1 m debajo de la superficie de arena. Nivelar las irregularidades en la superficie de arena.
Poner en marcha el filtro	Abrir nuevamente la conexión (a) y (c) , cerrar (b) y (e), hasta que el nivel del agua alcance 0,2 m sobre la superficie de arena. Abrir la válvula (a) de regulación del filtro y mantener la velocidad de filtración en 0,02 m/h. Abrir la válvula (e) de desagüe del agua filtrada. Aumentar la velocidad de filtración 0,02 m/h cada hora hasta alcanzar la velocidad de diseño.
Retirar el material flotante	Utilizar el accesorio (red recogedora).
Revisar la calidad del agua	Durante el periodo de maduración de un filtro, comprobar a diario si el agua filtrada reúne los criterios de calidad acordados para suministrarla.
Pasar el agua filtrada al sistema de abastecimiento	Cuando la calidad el agua filtrada es aceptable, cerrar la válvula (e) de desagüe del agua filtrada y abrir la válvula (c) para pasar a la etapa de desinfección.

Fuente: (Filtración Lenta en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades,1992)

Tabla 3.20 Procedimiento de operación normal y ajustes diarios.

Actividades	Acciones claves
Regular el nivel del agua sobrenadante	No se requiere.
Remover el Material Flotante	Es necesaria su remoción regular (utilizar accesorio red recogedora).

Medir la Velocidad de Filtración	Revise su valor en la regla de aforo.
Regular la velocidad de filtración	Manipule la válvula (a) de entrada para mantener la velocidad de filtración constante.
Decidir la limpieza del lecho	Cuando la altura del agua alcance el nivel del vertedero de rebose se debe sacar el filtro de servicio para limpieza. Programe la limpieza para que nunca saque de servicio más de una unidad a la vez.

Fuente: (Filtración Lenta en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades, 1992)

Tabla 3.21 Puesta fuera de servicio de un filtro lento para mantenimiento

Actividades	Acciones claves
Extraer el material flotante	Utilice el accesorio (red recogedora) y lleve hacia este el material flotante
Drenar el agua sobrenadante	Cierre la válvula de entrada (a). Continúe utilizando el accesorio (red recogedora) y abra la válvula (e). Limpie las paredes con un cepillo largo. Cierre la válvula (e) cuando el agua llegue a 0,20 m por debajo de la superficie del lecho filtrante.
Mantener la producción de agua en la planta	Ajuste la velocidad de filtración en otros filtros; no exceda la velocidad de 0,30 m/h.

Fuente: (Filtración Lenta en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades, 1992)

Para realizar la limpieza del lecho de arena se debe seguir los siguientes pasos que encuentran detallados en la Tabla 3.22.

Tabla 3.22 Procedimiento para limpiar un lecho filtrante.

Actividades	Acciones claves
1. Limpiar el equipo	Limpie todo el equipo incluido las botas.
2. Bajar al lecho filtrante	Entre en la caja del filtro usando una escalera corta.
3. Proteger el lecho filtrante	Raspe una pequeña área, cúbrala con tablas y coloque el equipo sobre ella.
4. Raspar la capa superior	Marque áreas ( 3 x 3 m <sup>2</sup> ) raspando en franjas estrechas. Raspe 1-2 cm de la parte superior de cada área.

5. Retirar el material raspado del filtro	Lleve el material raspado a la plataforma de lavado.
6. Retire el equipo	Retire todo el equipo.
7. Nivelar la superficie de la arena	Use una tabla para raspar o un rastrillo de diente finos para nivelar la superficie de arena.
8. Comprobar la profundidad del lecho de arena	Mida la altura desde el borde superior del muro hasta lecho filtrante.
9. Llenar el filtro en forma ascendente	Siga el procedimiento de la Tabla 3.20
10. Dar tiempo para la maduración biológica	La maduración generalmente toma de 1 a 2 días en zonas tropicales (siempre y cuando la limpieza no dure más de 1 día).
11. Pasar el agua al sistema de suministro	Cierre la válvula (e ) y abra las válvula y (c) de suministro.
12. Ajustar los otros filtros	Reduzca lentamente la velocidad de filtración de los otros filtros a la velocidad usual.

Fuente: (Filtración Lenta en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades, 1992)

La arena removida en los raspados y en la mayoría de los casos también la arena nueva, se debe lavar para liberar las impurezas antes de colocarla en el filtro, generalmente resulta más barato lavar y almacenar la arena raspada que usar arena fresca para llenar los filtros. Para el lavado de arena se necesita construir una plataforma, con una inclinación de 5 °. La plataforma debe estar rodeada de una pared que mida 60 cm de alto en la parte más alta y 30 cm en la parte más baja.

Se coloca entre 0,50 y 1,00 m<sup>3</sup> de la arena raspada en la plataforma y el operador rocía agua a presión sobre la arena, mediante una tubería conectada a una válvula ubicada en el ingreso de la planta, para quitarle las impurezas, el agua que rebosa es evacuada por medio de una tubería hacia el desagüe. Es esencial revolver la arena durante el lavado para asegurarse que salgan todas las impurezas. La arena lavada se debe poner esparcida a secar al sol, luego se almacena en un lugar libre de contaminación y convenientemente ubicado para su transporte (caseta de secado).

Es recomendable lavar la arena con agua filtrada ya que el agua cruda contiene impurezas, pero debe prestarse cuidado de no extraer demasiada cantidad del material más fino de lo contrario aumenta el tamaño promedio de las partículas de arena y las

impurezas podrán penetrar más profundamente en el lecho de arena (Cinara F. L., 1992).

Tabla 3.23 Procedimiento para lavado de arena con manguera

Actividades	Acciones claves
1. Colocar la arena raspada o nueva sobre la plataforma de lavado	Es preciso lavar inmediatamente los raspados para evitar olores desagradables.
2. Lavar la arena	Dirija el chorro de la manguera sobre la arena y remuévala; el procedimiento generalmente toma 1 hora.
3. Comprobar que la arena está limpia	Frote la arena entre las manos o haga la prueba con el recipiente de vidrio.
4. Secar la arena	Retire el tubo para drenar el agua de la plataforma de lavado. Esparza la arena sobre la plataforma para secarla al sol.
5. Guardar la arena lavada	Guarde apropiadamente la arena lavada y seca para prevenir su contaminación.

Fuente: (Filtración Lenta en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades, 1992)

**3.5.4.3 Rearenamiento:** El rearenamiento de un filtro; la reposición de la arena es necesaria cuando los raspados sucesivos han reducido el lecho de espesor de arena 50 a 60 cm esta operación se hace cada dos a tres años, para el rearenamiento se debe planificar con anticipación, contratar a un grupo de personas que ayuden al operador ya que se trata de un trabajo arduo (Cinara F. L., 1992).

Tabla 3.24 Procedimiento para reponer la arena de un filtro

Actividades	Acciones
1. Raspar la capa superior	Siga los procedimientos indicados anteriormente Tabla 3.23.
2. Drenar el agua del lecho filtrante	Abra la válvula de vaciado (e).
3. Extraer la arena	Extraiga la arena y colóquela junto al filtro, o amontónela a un lado de éste.
4. Rellenar el lecho de arena	Coloque una capa de arena fresca en el filtro. Coloque la arena vieja sobre la arena nueva.
5. Nivelar la superficie de arena	Alisar la superficie.
6. Poner nuevamente en servicio el filtro	Siga el procedimiento indicado en Tabla 3.20.
7. Dejar madurar el lecho filtrante	En condiciones tropicales la maduración después de reponer la arena tomará de tres a siete días.

Fuente: (Filtración Lenta en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades, 1992)

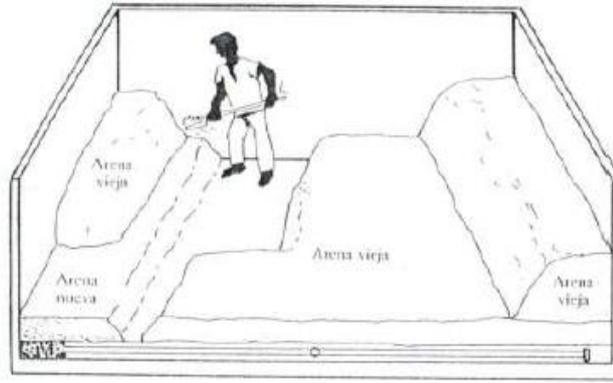


Figura 3.6 Rearenamiento de un Filtro Lento

Fuente: (Filtración Lenta en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades,1992)

**3.5.4.4 Registros:** Los registros diarios sobre el funcionamiento de los filtros, es información valiosa para poder tomar acciones en un futuro que pueden ayudar a prevenir problemas. Para que esta información registrada sea útil debe cumplir como mínimo con:

- Los parámetros de calidad que se han verificado.
- Las interrupciones en la entrada de agua cruda.
- Las limpiezas en la entrada y el sumidero de salida.
- Los cambios en el nivel del agua sobrenadante o en la velocidad de filtración.
- Las interrupciones en la operación del filtro.
- El registro de limpiezas (fecha y hora, altura de la arena, fecha y hora en que entro de nuevo al servicio).
- El registro de distribución (producción diaria cuando existe un medidor de agua, roturas y reparaciones).
- La limpieza de la red de distribución (Cinara F. L., 1992).

**3.5.4.5 Control de Calidad del Agua:** En el sector rural lamentablemente existen muchas limitaciones, como falta de instalaciones de laboratorios adecuados y de funcionarios capacitados, largas distancias para realizar el análisis de muestras, alto costo de las pruebas, que hacen el examen diario de la mayoría de los parámetros de calidad del agua. Sin embargo, con capacitación adecuada el operador puede realizar pruebas simples de turbiedad y contenido de cloro residual. Las pruebas requeridas como mínimo son:

- Turbiedad del agua a la entrada de la planta para verificar si ésta debe suspender.
- Turbiedad a la entrada y salida del filtro para determinar si el filtro está funcionando correctamente.

Cuando se aplica la cloración el operador debe medir el cloro residual en el tanque de agua tratada y al final de la red de distribución. El organismo encargado también debe realizar periódicamente pruebas físico químicas y bacteriológicas en el agua cruda y tratada.

Cuando no se cuenta con equipo para medición de la turbiedad una inspección visual puede ser bastante útil, para esto tomamos una muestra en la entrada agua cruda y a la salida agua tratada, colocando un vaso al lado del otro para así comparar el correcto funcionamiento del filtro (Cinara F. L., 1992).

### **3.6 Mantenimiento de Floculador de medio poroso**

Frente a las limitaciones existentes en poblaciones de tipo rural, en donde las condiciones propias del medio no se cuenta con los recursos técnicos y económicos para operar una planta con tratamientos convencionales, el método de floculador por medio poroso (grava) es una opción buena que contrarresta estas desventajas. La superficie de la grava que se va colocar ha sido previamente dimensionada mediante pruebas de laboratorio, por tanto, dependiendo del agua a tratar se puede obtener gran remoción de color y turbiedad; además de bajo costo es de fácil construcción (Arce, 1985). En esta clase de floculador la manera como se insertará el coagulante es mediante una mezcla rápida en un vertedero triangular (resalto hidráulico).

Tabla 3.25 Manual de Operación y Mantenimiento Floculador de Medio Poroso

Actividades Eventuales	Acciones Claves
Retiro y lavado total de la grava	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Cerrar la válvula de ingreso y válvula de compuerta</li> <li>-Abrir la válvula de desagüe</li> <li>-Retirar el material flotante (utilizar red recogedora)</li> <li>-Drenar el agua sobrenadante</li> <li>-Retirar las capas de grava</li> <li>-Lavar la grava</li> <li>-Lavar el fondo y las paredes del floculador</li> <li>-Instalar las capas de grava</li> </ul>

### 3.7 Mantenimiento de Sedimentadores

Tabla 3.26 Manual de Operación y Mantenimiento Sedimentador de Flujo Horizontal

Actividades	Acciones claves
Medición y control de caudal	Verificar el nivel de agua.
	Ajustar el caudal de entrada, para esto manipulamos a conveniencia la válvula de entrada.
Medición de la turbiedad	Medir la turbiedad a la entrada y salida del sedimentador.
Evacuación de lodos o sedimentos	Organizar la evacuación de lodos o sedimentos cuando la diferencia de turbiedad del agua del efluente y el afluente sea baja.
Registro de información	Llevar un registro diario de los valores de turbiedad de la entrada y salida del sedimentador.

Fuente: (OPS, Guía de Procedimientos para la Operación y Mantenimiento de Desarenadores y Sedimentadores, 2005)

Tabla 3.27 Manual de Operación y Mantenimiento Sedimentador de Flujo Horizontal

Actividades	Acciones claves
Lavado de la unidad Cortar el flujo de agua	Cerrar la válvula de entrada al tanque.
Limpeza de la zona de entrada	Con la ayuda de un cepillo de cerdas de material sintético retirar todo el material adherido en el fondo y las paredes de la cámara.
Limpeza de la zona de sedimentación	Abrir la válvula de drenaje para poder evacuar los lodos y sedimentos acumulados conjuntamente con el agua.
	Remover todos los sedimentos sobrantes, para esto nos ayudamos con una pala y baldes, hasta dejarlo completamente limpio Enjaguar completamente el tanque antes de ponerlo en operación.
Limpeza de la zona de salida	Con la ayuda de un cepillo de cerdas de material sintético retirar todo el material adherido en el fondo y las paredes de la cámara.
Puesta en funcionamiento	Cerrar drenajes y abrir las válvulas de llenado del tanque.
	Una vez limpio el tanque debe volver a sus funciones en cuanto sea llenado, este proceso tomara entre 4 y 6 horas dependiendo del volumen de la unidad.

Fuente: (OPS, Guía de Procedimientos para la Operación y Mantenimiento de Desarenadores y Sedimentadores, 2005)

### 3.8 Puesta en marcha del Equipo Clorid L10

Tabla 3.28 Operación Equipo Clorid L10

EQUIPO MODELO L10	
	Actividades
<p>CAJA DE CONTROL Amperímetro Timer Porta Fusible Cable de servicio 110 v.</p> <p>Cable de conexión Electrodo Tanque de producción Estructura PVC Llave de descarga</p>	<b>CARGA PARA PRODUCCION DEL EQUIPO L-10</b>
	1. Conecte el cable de servicio a una línea de 110 Voltios
	2. Agregue 10 litros de agua al tanque de producción
	3. Ponga 300 gramos de sal común de mesa en el tanque
	4. Asegúrese que la sal este bien diluida en el agua
	5. El timer debe estar calibrado para 24 horas
6. Gire la perilla superior del timer para calibrar. Tape el equipo, su cloro estará listo en 24 horas	

## **CAPITULO 4**

### **PRESUPUESTO**

#### **4.1 Cuantificación de las Cantidades de Obra**

El cálculo de las cantidades de obra del proyecto se especifica en el Anexo 11.

#### **4.2 Análisis de Precios Unitarios**

Presupuesto y análisis de precios unitarios del proyecto se especifican en el Anexo 12.

#### **4.3 Presupuesto**

Una vez terminado el diseño de todo el sistema de agua potable se procedió a sacar el presupuesto general del proyecto, para esto se utilizó el programa INTERPRO, cuyos datos importantes requeridos por el programa son las cantidades de obra de cada uno de los rubros a analizar; para esto se eligió los rubros más incidentes en el proyecto como son:

- Captaciones.
- Conducción.
- Planta de tratamiento.
- Red de distribución.

El programa INTERPRO también requiere de una base de datos del mes de enero de 2016 por lo que se utilizó la proporcionada por el GAD del Sígsig y adicionalmente a esta la de ETAPA EP. Para el análisis de precios unitarios se tomó en cuenta costos directos (mano de obra, materiales, equipo y transporte) e indirectos, siendo los costos indirectos el 20 % de los costos directos. Con el presupuesto obtenido en el programa la Municipalidad podrá gestionar recursos para la construcción de la obra, el mismo que se encuentra en el Anexo 12.

#### **4.4 Elaboración del Cronograma Valorado y Fórmula Polinómica**

El cronograma valorado de trabajos junto con la fórmula polinómica del proyecto se especifica en el Anexo 13.

#### **4.6 Especificaciones Técnicas**

Las especificaciones técnicas están de acuerdo a los rubros obtenidos, el seguimiento y control de estas garantizará la correcta funcionalidad del sistema.

Las especificaciones técnicas fueron tomadas de ETAPA EP y GAD Sígsig; las que se encuentran en el Anexo 14.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

- Por medio de las encuestas realizadas se obtuvo una idea clara de la situación socio-económica de la comunidad, la inconformidad del sistema de agua en cuanto a calidad y cantidad. Con los resultados del laboratorio de las muestras que se tomaron tanto en invierno como en verano se comprobó la mala calidad del agua que actualmente consume la población; parámetros que han servido de base para el diseño del sistema de agua potable. Es necesario la reconstrucción de todo el sistema, ya que en las paredes de las tuberías se encontró lodos adheridos a estas, por lo tanto, contaminan el agua al transportarla, aumentando considerablemente el porcentaje del color, dato que se verificó mediante los estudios de agua realizados en laboratorio; a más de esto todo el sistema no cuenta con tuberías de diámetros adecuados ya que fue construido con tuberías sobrantes de otros proyectos. Se realizó también un estudio de suelos en el lugar donde se emplazará la planta de tratamiento en el cual se recomienda cimentar a una profundidad mínima de 1 m.
- Para el tratamiento del agua se optó por dos alternativas; la primera comprende (1 FGDI + 2 FGACS + 2 FLA + Cloración) tecnología FIME; mientras que la segunda opción consta de (1 FGDI + Mezcla rápida + Floculador de Medio Poroso + Sedimentador + 2 FLA + Cloración) tecnología Convencional, con cualquiera de las alternativas presentadas se mejorará la calidad física, química y bacteriológica del agua. Mediante el tratamiento propuesto se espera una reducción de valores de turbiedad, color, hierro, sólidos suspendidos, manganeso y coliformes fecales, cumpliendo los parámetros especificados por la Norma INEN 1 108.
- En el presente estudio se realizó una mejora total del sistema; captaciones acondicionadas a las características de los efluentes; la conducción y la red de distribución fueron simuladas en el programa EPANET tomando en cuenta presiones, velocidades, pérdidas unitarias según indica la norma. Obteniendo resultados satisfactorios para mejorar el consumo de agua de las comunidades.

- Se presentó un presupuesto referencial detallado de todo el sistema de agua potable que permita al GAD del Sígsig gestionar recursos para la construcción del sistema.

**Recomendaciones:**

- Concientizar a la población para la protección de las fuentes de Captación (ciénegas) donde se van a emplazar las galerías de infiltración, prohibiendo el pastoreo de ganado cerca a los terrenos aledaños, con el fin de evitar que animales oriundos de la región renuevan el terreno y contaminen el agua con orines o excretas.
- En el tanque de almacenamiento se; necesita un enlucido total ya que presenta fisuras leves que dejan escapar agua, también se debe instalar una escalera de mantenimiento, un rebosadero y una tapa para el tanque.
- Debido a la gran responsabilidad que requiere la operación y mantenimiento del sistema de agua potable se debe capacitar al operador, él será el responsable directo de que el sistema funcione correctamente, para mayor eficiencia de esta actividad se adjunta al documento un manual de operación y mantenimiento del sistema.
- Es importante el monitoreo y control periódico de la calidad del agua tanto en la fuente como en la planta de tratamiento, para garantizar el perfecto funcionamiento del sistema implementado y así evitar posibles brotes de enfermedades relacionadas con el agua que se consume.
- Si se opta por la segunda opción es imprescindible la contratación de un técnico para que realice la dosificación del coagulante; así como también se encargue del mantenimiento que en este caso va a tener un grado de dificultad mayor que la primera opción.
- Para la aplicación correcta de la dosis del coagulante en la estructura de mezcla rápida, es necesario realizar un ensayo de jarras; con la finalidad de comprobar algunos parámetros que influyen en el diseño de la alternativa 2 y así obtener remoción de color y turbiedad en niveles adecuados.

- La ejecución de la obra estará sujeta a cambios que puedan ser considerados pertinentes por parte del constructor y aprobados por el fiscalizador al momento de la construcción de la obra.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aquaquimi. (10 de junio de 2016). *Aquaquimi*. Obtenido de Aquaquimi:  
[http://www.aquaquimi.com/Paginas/Trat\\_agua\\_pot/Desinfeccion%20agua/agua%20potable%20cloro.html#sodio](http://www.aquaquimi.com/Paginas/Trat_agua_pot/Desinfeccion%20agua/agua%20potable%20cloro.html#sodio)
- Arapa, J. B. (17 de 11 de 2013). *Modelamiento de Redes de Agua a Presión*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/alucarddns/modelamiento-de-redes-de-agua-a-presin>
- Arce, J. (1985). Floculación de lecho poroso. En J. Arce.
- Arnolich, S. (2007). *Epanet y Cooperación*. Santiago: ISBN.
- Carlos Richter, J. A. (1991). *Tratamiento de Agua Tecnología Actualizada*. Brazil: Edgard Blücher Ltda.
- CEPIS. (1973). *Teoría, Diseño y Control de los procesos de control de agua*. CEPIS.
- CIEMA, C. d. (19 de abril de 2016). *Informe de Galerías de Infiltración*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/MIA-CIEMA/informe-galerias-de-infiltracion-8346085>
- Cinara. (1992). *Filtración en Múltiples Etapas Tecnología para el Tratamiento de Agua*. Medellín: IRC.
- Cinara. (1999). *Filtración en Múltiples Etapas Tecnología innovativa para el tratamiento de agua*. Santiago de Calí: IRC.
- Cinara, F. L. (1992). *J.T Visscher, R.Paramasivam, A. Raman, H.A. Heijnen*. Cali, Colombia: CINARA.
- Corcho Romero, F. &. (2005). *Acueductos Teoría y Diseño*. Medellín: Universidad de Medellín.
- GEOLIDERAR, G. T. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenanza Territorial*. Sígsig.
- Giles, R. V. (1967). *Mecánica de Fluidos e Hidráulica*. Colombia: McGRAW-HILL.
- INEN, C. E. (1992). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. Quito: CPE INEN 5.
- Larry W, M. (2012). *Manual de Sistemas de Distribución de Agua*. Madrid: Antonio García Brage.
- Manual de Epanet, G. M. (s.f.). *Manual de Epanet 2*. Valencia España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Marrón, C. (1999). *Planta de Tratamiento de Filtración Lenta; Diseño Operación y Mantenimiento*. Lima: Intermediate Technology Development Group.

- Marrón, C. (1999). *Plantas de Tratamiento de Filtración Lenta; Diseño, Operación y Mantenimiento*. Lima: Intermediate Technology Development Group .
- Montemayor, H. M. (1979). *Manual de Diseño y Construcción de Galerías de Infiltración*. Panama: Library International Reference Centre for Community Water Supply.
- NORMA CO 10.7-602, C. E. (s.f.). *Sistema de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural*.
- OPS. (2005). *Guía de Procedimientos para la Operación y Mantenimiento de Desarenadores y Sedimentadores*. Lima: OPS.
- OPS. (2005). *Guía para Diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas*. Lima: OPS.
- OPS, O. P. (1992). *Criterios de diseño para la dosificación y mezcla rápida*. Curitiba: CEPIS.
- OPS, O. P. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Lima: CEPIS.
- OPS, O. P. (4 de Agosto de 2006). Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. En O. P. Salud, *Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de filtración rápida, Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada* (págs. 91-131). Lima: CEPIS. Obtenido de [http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualIII/ma2\\_cap3.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualIII/ma2_cap3.pdf)
- Ordoñez, I. F. (2016). *Estudio de Suelos y Determinación de Capacidad Soportante de la Planta de Tratamiento*. Cuenca.
- Ospina Botero, D. (1981). Modelos Matemáticos Elementales en proyecciones de Población. *Revista Colombiana de Estadística*, 81.
- Pérez, R. M. (2005). *Manual de Prácticas de Laboratorio de Hidráulica*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia .
- Rivas, W. A. (2015). *Potabilización del Agua*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Rodríguez Ruiz, P. (2001). *Abastecimiento de Agua*. Oaxaca: Instituto Tecnológico de Oaxaca.
- Rojas, J. R. (2006). *Purificación del Agua*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romo, M. (2008). *Temas de Hormigón Armado*. Quito: Escuela Politécnica del Ejército - Ecuador.
- Vargas de Cánepa, I. L. (18 de 04 de 2016). *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS/OPS*. Obtenido de Organización Panamericana de la Salud: <http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/tratagua/lenta/lenta1.html>

**ANEXOS**

**Ver CD**