



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

**“Diseño del Sistema de Agua Potable para la comunidad de
Las Peñas de Mollepongo, perteneciente al cantón Pucará,
provincia del Azuay”**

Tesis previa a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Autores:

**JUAN FRANCISCO AMOROSO COBOS
BOLÍVAR ESTEBAN MARÍN CASTRO**

Director de Tesis:

MARÍA BELÉN ARÉVALO DURAZNO

CUENCA - ECUADOR

2017

CERTIFICACIÓN

Ingeniera.
María Belén Arévalo Durazno.
Directora de Tesis.

CERTIFICO:

Que esta tesis ha sido realizada íntegramente por los señores Juan Francisco Amoroso Cobos con cédula de identidad número 0105991681 y Bolívar Esteban Marín Castro con cédula de identidad número 0301672309 quienes bajo mi tutoría, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil con énfasis en Gerencia de Construcciones**, cumplen con la reglamentación pertinente, así como lo programado en el plan de tesis y reúnen la suficiente validez técnica y práctica, por consiguiente, autorizo su certificación.



Ing. María Belén Arévalo Durazno
Directora de Tesis

AGRADECIMIENTO

En primera instancia expresar mi agradecimiento a Dios por permitir tener salud y vida para poder culminar con mis estudios universitarios, y sin duda poder formarme como profesional y de esta manera servir a los demás.

De la misma manera, agradezco profundamente a la Ing. María Belén Arévalo Durazno, quien con dedicación y esfuerzo supo impartirnos cada uno de sus criterios valiosos y conocimientos impartidos que sirvieron para el desarrollo de este proyecto.

Al Departamento de Planificación, a cargo del Arq. Fernando Zhunio, y el Departamento de Agua Potable, a cargo del Ing. Marco Oyervide, del Gobierno Autónomo Descentralizado del Antón Pucará, quienes apoyaron constantemente con sus criterios que influyeron en el desarrollo de este proyecto.

Juan Francisco Amoroso Cobos.

Tengo a bien en agradecer a todas las personas que coadyuvaron a la terminación de mis estudios, y la elaboración de este trabajo para la titulación de Ingeniero Civil en Gerencia de Construcciones, de manera especial a mis familiares, y a todos los catedráticos de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay. Un agradecimiento muy particular a la Ing. María Belén Arévalo que ha dedicado su valioso tiempo para la terminación de la presente tesis.

Bolívar Esteban Marín Castro.

DEDICATORIA

A mi padre Rubén Darío Amoroso Mora y a mi madre Sandra del Rocío Cobos Chiriboga quienes, me brindaron todo su apoyo incondicional en todo momento durante el transcurso de mi vida académica, sin duda alguna se sacrificaron de una manera desmesurada para que pueda culminar con mis estudios y mi profesión, personas sumamente valiosas que supieron brindarme su apoyo y confianza en absolutamente en todos los aspectos y como no para el desarrollo de este proyecto, es por ello que quiero dedicarles con todo mi respeto y cariño esta profesión, quienes anhelaron desde hace mucho tiempo.

A mi hermano Rubén Darío Amoroso Cobos, agradecer cada momento que supo estar a mi lado en el transcurso de mi formación, y por todos y cada uno de los momentos vividos.

Quiero también agradecer a cada uno de mis familiares, que constantemente me apoyaron y colaboraron en mi formación universitaria, de manera especial, agradezco al Ing. Patricio Amoroso Mora, quien supo brindarme su apoyo, así como también me supo aconsejar, brindándome sus criterios y conocimientos que fueron valiosos para mi formación profesional.

Juan Francisco Amoroso Cobos.

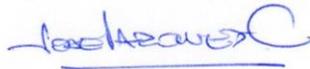
Dedico este presente trabajo a todos mis familiares de manera especial a mi padre Bolívar Marín y a mi madre Cumandá Castro, quienes con paciencia dedicación y su apoyo incondicional han sabido guiarme por el camino del bien. Siempre teniendo en cuenta que son los pilares fundamentales en mi formación espiritual y personal, que desde niño me han ido inculcando para formar un hombre de bien ante la sociedad para alcanzar esta gran meta.

Bolívar Esteban Marín Castro.

RESUMEN

El estudio consiste en el diseño del sistema de agua potable para la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo” del cantón Pucará provincia del Azuay y consiste en el diseño de la captación, conducción, planta de tratamiento y distribución. Esta propuesta responde a la carencia del líquido vital aspecto que repercute en la calidad de vida de sus habitantes. Mediante convenio suscrito entre el GAD de Pucará y la Universidad del Azuay se resolvió diseñar el sistema de agua potable para esta comunidad. El proyecto establece un periodo de vida útil de 25 años y servirá como herramienta de gestión para el GAD y para ejecutar el proyecto. Los parámetros responden a normas vigentes y necesidades reales del sector.

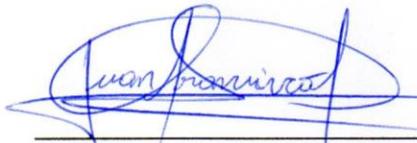
Palabras claves: Sistema de Agua Potable, abastecimiento, Mollepongo, planta de tratamiento, obra sanitaria



Ing. José Fernando Vázquez Calero.
Coordinador de Escuela.



Ing. María Belén Arévalo Durazno.
Directora de Tesis.



Juan Francisco Amoroso Cobos.
Autor.



Bolívar Esteban Marín Castro.
Autor.

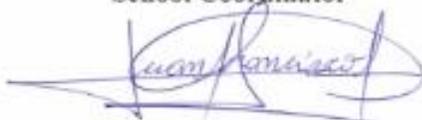
ABSTRACT

The study dealt with the design of the drinking water system for *Las Peñas de Mollepongo* community in the canton of *Pucara*, province of *Azuay*, and consisted of the design of water collection, conduction, treatment plant and distribution. This proposal responded to the lack of fresh water, which affects the quality of life of the inhabitants in the area. The design of a drinking water system for this community was determined through an agreement signed between the GAD (Autonomous Decentralized Government) of *Pucara* and *Universidad del Azuay*. The project established a useful life of 25 years, and will serve as a management tool for the GAD and its implementation. The parameters corresponded to current norms and real needs of the sector.

Keywords: drinking water system, supply, *Mollepongo*, treatment plant, sanitary works



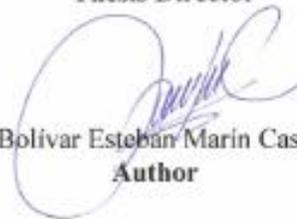
Ing. José Fernando Vázquez Calero.
School Coordinator



Juan Francisco Amoroso Cobos.
Author



Ing. María Belén Arevalo Durazno.
Thesis Director



Bolívar Esteban Marín Castro.
Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
C.C.S. Idiomas



Translated by
Lic. Lourdes Crespo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	v
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
Alcance.....	xvi
Justificación.....	xvii
OBJETIVOS	xviii
Objetivo general	xviii
Objetivos específicos	xviii
Introducción	xix
CAPÍTULO I: MARCO CONCEPTUAL	21
1.1. Levantamiento de la información.....	21
1.2. Antecedentes del estudio.....	22
1.3. Comunidad de Las Peñas de Mollepongo	26
1.3.1. Ubicación y localización	27
1.3.2. Clima de la comunidad.....	27
1.3.3. Vías de acceso	28
1.3.4. Uso de suelo de la comunidad.....	29
1.4. Situación actual del abastecimiento de agua	30
1.5. Estudios	31
1.5.1. Análisis de suelos	31
1.5.1.1. Distribución granulométrica:.....	31
1.5.1.2. Límites de Atterberg.....	32

1.6. Distribución de la población y características socioeconómicas	33
1.6.1. Información básica de la localidad.....	33
1.7. Revisión de la norma a utilizar.....	37
CAPÍTULO II: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DISEÑO	38
2.1. Definiciones generales	38
2.2. Periodo de diseño.....	39
2.3. Población.....	40
2.3.1. Tasa de crecimiento poblacional.....	41
2.4. Niveles de servicio	42
2.5. Dotación.....	43
2.6. Análisis de Fugas	44
2.7. Caudal medio Q_m	45
2.8. Caudal máximo diario QMD.....	45
2.9. Caudal máximo horario QMH.	45
2.10. Caudal domiciliario.....	46
2.11. Almacenamiento	46
2.12. Fuente de almacenamiento.....	47
2.13. Captación.....	47
2.14. Conducción	48
2.15. Tratamiento	48
2.16. Distribución de agua potable.....	48
2.17. Aforo de la fuente de abastecimiento.....	49
2.18. Cuadro de resultados.....	51
2.19. Sistema de agua potable.....	52
2.19.1. Captación.....	52
2.19.2. Volumen de la caja de almacenamiento.....	53
2.19.2.1. Dimensiones de la caja de almacenamiento.....	54
2.19.3. Diseño de la conducción de agua cruda	55
2.19.4. Análisis de alternativas de diseño para el tratamiento de agua	56

2.19.4.1. Calidad de agua	56
2.19.4.1.1. Características físicas	57
2.19.4.1.2. Características químicas.....	58
2.19.4.1.3. Características bacteriológicas	59
2.19.4.2.1. Análisis de alternativas de tratamiento	59
2.19.4.2.2. Filtro grueso ascendente.....	61
2.19.4.2.3. Filtro lento de arena	64
2.19.5. Diseño de la planta de tratamiento	65
2.19.5.1. Caja de recolección	68
2.19.5.1.1 Dimensiones de la caja.....	68
2.19.5.1.2. Calculo para el vertedero	68
2.19.5.1.3. Altura del vertedero.....	68
2.19.5.1.4. Longitud del vertedero (Lv)	69
2.19.5.1.5. Ancho del vertedero	69
2.19.5.1.6. Área del vertedero	69
2.19.5.1.7. Velocidad del vertedero	69
2.19.5.2. Longitud de la cámara de almacenamiento	70
2.19.5.3. Diseño de los filtros	70
2.19.5.3.1. Área de los filtros	71
2.19.5.4. Caudal de lavado	71
2.19.5.5. Sistema de drenaje.....	71
2.19.5.6. Cloración.....	72
2.19.6. Tanque de reserva	73
2.19.7. Pérdidas unitarias, presiones y velocidades	73
2.19.7.1. Fórmula de Darcy- Weisbach.....	73
2.19.7.2. Fórmula de Flamant	74
2.19.7.3. Fórmula de Hazen-Williams	75
2.19.7.4. Presiones.	76
2.19.7.5. Velocidades	76

2.19.8. Sectorización de la red de distribución	77
2.19.9. Red de distribución	79
2.19.10. Análisis de alternativas de materiales y accesorios a utilizar	80
CAPÍTULO III: DISEÑO DEFINITIVO	82
3.1. Diseño de la captación	82
3.2. Diseño de la conducción de agua cruda	82
3.3. Planta de tratamiento	83
3.3.1. Filtro lento de arena.....	83
3.4. Cloración	84
3.5. Tanque de reserva.....	84
3.6. Red de distribución.....	85
CAPITULO IV: ANÁLISIS ECONÓMICO	86
4.1. Análisis de precios unitarios	86
4.2. Presupuesto	89
4.3. Especificaciones técnicas	90
4.4. Manual de operación y mantenimiento	91
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA.....	97
ANEXOS	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1. Estación TRIMBLE M3 DR2.	21
Ilustración 1.2. Levantamiento de la información.	22
Ilustración 1.3. Estación TRIMBLE M3 DR2.	22
Ilustración 1.4. Fuente de abastecimiento.	26
Ilustración 1.5. Ubicación geográfica de la comunidad.	27
Ilustración 1.6. Clima de la comunidad.	28
Ilustración 1.7. Vías de acceso a la comunidad.	29
Ilustración 1.8. Uso de suelo del cantón Pucará.....	29
Ilustración 1.9. Fuente de abastecimiento.	30
Ilustración 1.10. Suelo del terreno de la comunidad.	33
Ilustración 1.11. Sociabilización con la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo”	36
Ilustración 2.1. Aforo de la fuente	51
Ilustración 2.2. Galería de infiltración	53
Ilustración 2.3. Vertiente de agua.	56
Ilustración 2.4. Muestra para el análisis físico.	57
Ilustración 2.5. Muestra para el análisis químico.....	59
Ilustración 2.6. Sistema de suministro de agua para consumo humano.....	61
Ilustración 2.7. Coeficiente de rugosidad.....	75
Ilustración 2.8. Áreas de aporte de la comunidad.	79

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1. Persona entrevistada (jefe del hogar):.....	34
Gráfico 1.2. Tenencia de la vivienda:	35
Gráfico 1.3. Red de agua potable	35
Gráfico 1.4. Calidad del agua.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Porcentaje de cobertura de agua a nivel nacional	25
Tabla 1.2. Mallas de análisis granulométrico.....	31
Tabla 1.3. Persona entrevistada (jefe del hogar):	34
Tabla 1.4. Tenencia de la vivienda:	34
Tabla 1.5. Red de agua potable	35
Tabla 1.6. Calidad del agua.....	36
Tabla 2.1. Periodo de diseño.....	39
Tabla 2.2. Población de la comunidad	40
Tabla 2.3. Métodos de proyección poblacional.	40
Tabla 2.4. Índices de crecimientos poblacionales.....	41
Tabla 2.5. Niveles de servicios.	42
Tabla 2.6. Dotación según la región.....	44
Tabla 2.7. Porcentaje de fugas.	44
Tabla 2.8. Aforo en la época de verano.	50
Tabla 2.9. Aforo en la época de invierno.....	50
Tabla 2.10. Cuadro de resultados.....	51
Tabla 2.11. Nivel de riesgo.	60
Tabla 2.12. Ventajas y desventajas del sistema de tratamiento.	60
Tabla 2.13. Granulometría del lecho filtrante.	62
Tabla 2.14. Criterios de diseño de filtros ascendentes.....	63
Tabla 2-15: Eficiencia de tratamiento por el FGA.....	63
Tabla 2.16. Criterio de diseño para filtros lentos de arena.....	64
Tabla 2.17. Características del agua.....	65
Tabla 2.18. Criterios de selección de filtración.....	66
Tabla 2.19. Resultados obtenidos en laboratorio	67
Tabla 2.20. Estado de resultados al tratamiento.....	67
Tabla 2.21. Sistemas de tratamiento de agua.	70
Tabla 2.22. Concentración de cloro.	72
Tabla 2.23. Coeficiente de Flamant.	74
Tabla 2.24. Coeficiente de rugosidad.....	76
Tabla 2.25. Velocidad máxima y velocidad mínima.....	77
Tabla 2.26. Área de aporte de la comunidad.....	78
Tabla 2.27. Tipo de tuberías.....	80
Tabla 3.1. Diámetro de tuberías utilizadas en la red diseñada.	85

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Caudal medio.....	45
Ecuación 2 Caudal máximo diario	45
Ecuación 3 Caudal máximo horario.....	45
Ecuación 4 Caudal unitario	46
Ecuación 5 Volumen del tanque de almacenamiento	46
Ecuación 6 Fuente de almacenamiento	47
Ecuación 7 Caudal para la captación	47
Ecuación 8 Caudal de la conducción	48
Ecuación 9 Caudal de la planta de tratamiento	48
Ecuación 10 Caudal de la red de distribución.....	48
Ecuación 11 Calculo del aforo de la vertiente	49
Ecuación 12 Cálculo de volumen de la caja de almacenamiento.....	53
Ecuación 13 Cálculo de la velocidad de sedimentación.	54
Ecuación 14 Cálculo del coeficiente de arrastre	54
Ecuación 15 Cálculo del número de Reynolds.	54
Ecuación 16 Cálculo de la velocidad horizontal	54
Ecuación 17 Cálculo del área total de la cámara.....	54
Ecuación 18 Cálculo de la longitud de la cámara.	55
Ecuación 19 Cálculo de la altura de la cámara.	55
Ecuación 20 Cálculo del volumen del tanque.	68
Ecuación 21 Cálculo de la longitud del tanque	68
Ecuación 22 Cálculo de la altura del agua del vertedero.	68
Ecuación 23 Cálculo de la altura del vertedero.....	68
Ecuación 24 Cálculo de la longitud del vertedero.	69
Ecuación 25 Ancho del vertedero.	69
Ecuación 26 Cálculo del área del vertedero.....	69
Ecuación 27 Cálculo de la velocidad del vertedero.	69
Ecuación 28 Cálculo de la longitud de la cámara de almacenamiento.	70
Ecuación 29 Área de filtros.....	71
Ecuación 30 Caudal del orificio.....	71
Ecuación 31 Número de orificios.....	71
Ecuación 32 Cálculo del volumen del tanque de reserva.....	73
Ecuación 33 Cálculo de pérdida por fricción de Darcy-Weisbach.	74
Ecuación 34 Cálculo de pérdida por fricción de Flamant.	74
Ecuación 35 Cálculo de pérdida por fricción de Hazen-Williams.....	75
Ecuación 36 Ecuación de Bernoulli.	76
Ecuación 37 Fórmula de Manning.....	76
Ecuación 38 Cálculo del caudal medio.....	79

Alcance

La carencia del líquido vital y por ende una mala calidad de vida, hizo que, bajo determinadas condiciones, se suscriba un Convenio entre el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Pucará y la Universidad del Azuay (UDA) en el año 2017, donde se resolvió implementar un sistema de agua potable para la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo” para el que se requerirá realizar los estudios que se mencionan a continuación: (GAD Pucará - Universidad del Azuay, 2017)

- Elaborar un diagnóstico comunitario, organizativo, social y participativo en la localidad a intervenir en lo referente al abastecimiento de agua potable.
- Realizar el diseño de la captación de agua potable con el fin de utilizar el agua de la fuente natural y llevarla a su tratamiento y posterior distribución.
- Analizar alternativas, y de acuerdo a la más apropiada, realizar el diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable.
- Diseñar la red de distribución del Sistema de Agua Potable, posterior a un tratamiento, para poder llevar el agua por medio de una red de tuberías, y de esta manera llevar el agua hacia cada punto de distribución.

Justificación

La comunidad de “Las Peñas de Mollepongo”, en el cantón Pucará, presenta problemas de servicio básico de agua potable para la distribución de cada uno de sus habitantes, debido a un factor sumamente importante como es la ubicación de la comunidad, es por eso que se dificulta la intervención de obras de infraestructura sobre esta comunidad.

La carencia de este líquido vital dificulta que los habitantes tengan una buena calidad de vida, presentando problemas de salud por la calidad del agua que se consume en la actualidad en esta comunidad.

La falta de una correcta distribución de agua potable provoca que no se equipare la demanda en su totalidad. Es por ello que el diseño de la captación, tratamiento y conducción del agua cumplirá con las necesidades de los habitantes de dicha comunidad.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar el Sistema de Agua Potable para la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo” del cantón Pucará, provincia del Azuay, la que consistirá en la captación, conducción, planta de tratamiento y distribución a sus habitantes.

Objetivos específicos

- Levantar información en campo, muestras de agua para los estudios, análisis de suelos y las respectivas encuestas a los beneficiarios.
- Diseñar el sistema de agua potable que incluirá: captación, conducción, planta de tratamiento y la red de distribución.
- Determinar las cantidades de obra, presupuesto, análisis de precios unitarios, cronogramas y fórmula polinómica.

Introducción

El proyecto titulado “Diseño del Sistema de Agua Potable para la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo”, en el cantón Pucará”, tiene como objetivo general diseñar el sistema de agua potable para la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo” del cantón Pucará, provincia del Azuay, la que consistirá en la captación, conducción, planta de tratamiento y distribución a sus habitantes.

Este precedente se cobija bajo un convenio realizado por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Pucará y la Universidad del Azuay (UDA) en el año 2017, donde se resolvió implementar un sistema de agua potable para la comunidad en estudio.

Por tanto, el proyecto responde a la necesidad de tener agua potable de calidad, contrario al agua entubada que tienen en estos momentos y que puede ser causa de una serie de dificultades como daños a la salud o contaminaciones ambientales.

En el Capítulo I se presenta el marco conceptual con información sobre los antecedentes de estudios similares, características de la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo”, la situación actual por la que atraviesa con el desabastecimiento de agua, así como el análisis de suelos e información socioeconómica de sus habitantes. Se respalda con la información legal que servirá para la propuesta.

En el Capítulo II se hace el análisis y evaluación del diseño según el periodo, población, tasa de crecimiento poblacional, niveles de servicio, dotación, análisis de fuga, fuentes de abastecimiento y análisis de la calidad de agua con el fin de identificar las alternativas, materiales y accesorios a utilizarse.

En el Capítulo III se presenta el diseño definitivo del proyecto sobre la captación, volumen y dimensiones de la caja de almacenamiento, diseño de la conducción de agua cruda, de la planta de tratamiento, y de la distribución.

En el Capítulo IV se desarrolla el análisis presupuestario del proyecto, mismo que está constituido por: análisis de precios unitarios, cronograma valorado, y especificaciones técnicas.

Por tanto, el presente estudio consistirá en la determinación de las calidades, capacidades y características de la fuente de agua potable, así como el diseño de las obras de captación, conducción, tanque de almacenamiento y la red de distribución, presentando documentación como especificaciones técnicas constructivas y presupuesto general con la finalidad de contar con un documento que a futuro será la solución para el sistema de agua de las Peñas de Mollepongo.

CAPÍTULO I

MARCO CONCEPTUAL

1.1. Levantamiento de la información

Para el levantamiento de información, primero, se realizó el recorrido de toda la comunidad para saber el estado del agua que están consumiendo; se estableció en dónde se va a emplazar la planta de tratamiento conjuntamente con el tanque de almacenamiento. También, se puso en consideración la sectorización y la red de distribución para no afectar a los moradores de dicha comunidad. La topografía base es compromiso del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) municipal de Pucará.

Para el levantamiento de las casas y para determinar las coordenadas de la planta de tratamiento se usó la estación total **TRIMBLE M3 DR2** para una mayor precisión de los datos para un futuro diseño.



Ilustración 1.1. Estación TRIMBLE M3 DR2.

Fuente: los autores



Ilustración 1.2. Levantamiento de la información.
Fuente: los autores.



Ilustración 1.3. Estación TRIMBLE M3 DR2.
Fuente: los autores.

1.2. Antecedentes del estudio

El abastecimiento de agua potable en los países de América Latina y El Caribe fue de 291.6 millones de habitantes en áreas urbanas y 124 millones en zonas rurales en el año de 1988 (Castro de Esparza, 1997); sin embargo, el abastecimiento de agua potable registrado no corresponde a la población total, ya que la cantidad real de la población que hace uso de este líquido vital es mayor, especialmente, en la zona rural donde la cifra real de población no está totalmente cuantificada.

Es por ello que existen familias de la población rural que no poseen un correcto abastecimiento de agua potable o en los peores de los casos, carecen de éste. (Díaz, García, & Solís, 2000).

La inadecuada provisión del servicio de suministro de agua en las áreas rurales, sumando las inestabilidades tanto económicas como políticas que se arrastran por años en los gobiernos centrales, son las grandes causas para que en las comunidades rurales no se cuente con el adecuado tratamiento para la potabilización del agua y su distribución hacia las viviendas de dichas comunidades, siendo gravemente afectados los moradores de dichas localidades, reflejándose en las enfermedades adquiridas. (Díaz, García, & Solís, 2000).

Ante esta realidad, los gobiernos descentralizados tratan de invertir de manera adecuada sus recursos en proyectos que mejoren la calidad de vida de los más necesitados. De esta manera, se busca satisfacer las necesidades de las comunidades implementando un correcto diseño y cumplimiento en las normas de agua potable, logrando servir de mejor manera, aumentando su confort, garantizando un servicio continuo de agua potable y mejorando su estilo de vida, reduciendo enfermedades que se dan cuando se consume el agua de las fuentes naturales. (Enriquez Contreras & Martínez Lozano, 2012).

Hasta la década de 1980 los sistemas de abastecimiento de agua potable eran únicamente a través de hidrantes públicos. En esa década, cada comunidad comenzó a colocar su propia red de distribución local y la población se benefició con toma domiciliaria.

De acuerdo con la información de todas las comunidades de la población, los municipios cubrían con gran parte del material necesario para la colocación de esta toma de agua potable. En algunos poblados se hicieron sin asesoría; las redes de distribución quedaron a mano de las comunidades que las habían construido (López, Matrínéz, & Palerm, 2013).

En el Ecuador, el gobierno central pretende tener una cobertura total de sistemas de agua potable con la finalidad de lograr que todos los hogares tengan acceso a este servicio básico y poder erradicar la pobreza que surge por las necesidades básicas insatisfechas.

Cabe mencionar que la provisión de agua potable incide de manera directa en la reducción de la desnutrición, mejorando la salud de la población y reduciendo los casos parasitarios y gastrointestinales.

Según la **Tabla 1.1** se ha determinado que a finales del 2013 las provincias de Pichincha, Santa Elena y el Oro, contaban con la mayor cobertura de agua potable con aproximadamente un 90% de su población; mientras que en la provincia del Azuay existía una cobertura del 83.3% de su población.

El cantón de Pucará provincia del Azuay presenta una cobertura sumamente inferior a la mencionada con aproximadamente un 45.1% de la población total, siendo este cantón el menos abastecido con servicios de red agua potable con respecto a los otros cantones. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2014)

Tabla 1.1. Porcentaje de cobertura de agua a nivel nacional

CANTÓN	COBERTURA DE AGUA POTABLE
Cuenca	87.9%
Guachapala	83.2%
San Fernando	72.3%
Chordeleg	71.6%
Oña	69.2%
El Pan	67.9%
Gualacelo	67.4%
Girón	65.4%
Santa Isabel	61.3%
Nabón	59.8%
Paute	58.8%
Sevilla de Oro	57.8%
Camilo Ponce Enríquez	52.4%
Sigsig	50.9%
Pucará	45.1%

Fuente: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES, 2014)

Un correcto estudio que determine la necesidad de implementar un sistema de abastecimiento de agua potable para uso y consumo humano, verificando que el líquido vital cumpla con los parámetros requeridos en la norma, es de suma importancia para poder prevenir y evitar que surjan enfermedades gastrointestinales en los habitantes.

Es por ello que en los diseños de abastecimiento de agua potable hay que marcar claramente los límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, químicas y radiactivas con el fin de asegurar, y preservar, la calidad de agua de los sistemas hasta entregar al consumidor (Comité Nacional de Normalización, 2015).

1.3. Comunidad de Las Peñas de Mollepongo

La comunidad de “Las Peñas de Mollepongo”, ubicada en el cantón de Pucará no cuenta con sistema de abastecimiento de agua potable, siendo afectados directamente los habitantes de dicha comunidad al usar el agua en condiciones no óptimas para el consumo.

El actual abastecimiento de la comunidad es únicamente de la fuente generadora de agua, es decir, la naturaleza es la que le provee de agua a la comunidad y por lo tanto no cuenta con una obra de infraestructura que permita dotar el agua de manera adecuada y de manera constante a cada uno de los habitantes.

Así también esta comunidad no posee planta de tratamiento alguna con el cual pueda mejorar la calidad del agua de esta manera la situación de la comunidad es crítica ya que se abastecen del agua cruda.

Con este antecedente, el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Intercultural del cantón Pucará, a través del departamento de agua potable y alcantarillado del cantón Pucará, en coordinación con la Universidad del Azuay (UDA) y de manera específica con el departamento de vinculación, vieron la necesidad de realizar los estudios para el diseño de agua potable que beneficie a la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo”. diseño dentro del cual se enmarca la presente propuesta.



Ilustración 1.4. Fuente de abastecimiento.
Fuente: los autores

1.3.1. Ubicación y localización

La comunidad de “Las Peñas de Mollepongo” está localizada en la parroquia San Rafael de Sharug en el cantón Pucará al sureste de la provincia del Azuay, como se muestra en la **Ilustración 1.5**, la comunidad se encuentra a una altura alrededor de los **1706 msnm** metros sobre el nivel del mar y en las siguientes coordenadas **9643895 m** latitud norte y **658698 m** latitud este. Este sector cuenta con una topografía un tanto irregular.



Ilustración 1.5. Ubicación geográfica de la comunidad.

Fuente: Google Earth

1.3.2. Clima de la comunidad

La comunidad de “Peñas de Mollepongo” tiene clima templado húmedo debido a la ubicación geográfica, Este clima es de suma importancia para el posterior diseño ya que de este depende los factores de diseño, según la región en la que se encuentra; si bien, esta comunidad pertenece a la provincia del Azuay, por su ubicación geográfica adopta las características de la región sierra.

Para la determinación del clima que existe en la comunidad se ha consultado datos en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). En este instituto se han indagado las estaciones meteorológicas e hidrológicas que cuenta a nivel nacional para de esta manera poder determinar la estación más cercana a la comunidad de estudio como lo es la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo”.



Ilustración 1.6. Clima de la comunidad.
Fuente: los autores

1.3.3. Vías de acceso

Sus principales vías de comunicación son de tercer orden; existen dos alternativas de ingreso a la comunidad: el primero, a través del centro del cantón Pucará por el sector sur y, segundo, a través de la parroquia San Rafael por el sector norte del cantón. Cabe mencionar que en la vía Cuenca-Machala comunica hacia las dos alternativas descritas anteriormente.

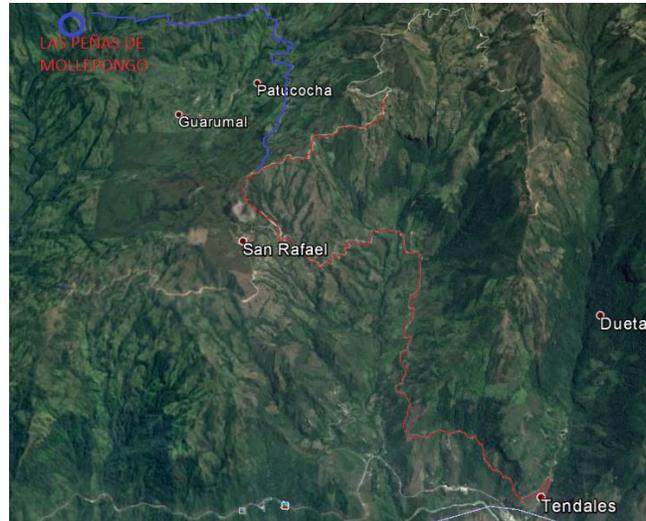


Ilustración 1.7. Vías de acceso a la comunidad.
Fuente: Google Earth

1.3.4. Uso de suelo de la comunidad

De acuerdo al Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) del cantón Pucará, a través de la información proporcionada por el Instituto de Estudios del Régimen Seccional del Ecuador (IERSE), el uso de suelo del cantón está definido en gran parte como: “Suelo rural de protección”, con excepción del cantón Pucará cuyo suelo está definido como suelo urbano. Específicamente, para este proyecto se ha analizado el uso de suelo de la comunidad “Las Peñas de Mollepongo”, en la que se especifica completamente el suelo de protección como se observa en la siguiente imagen.

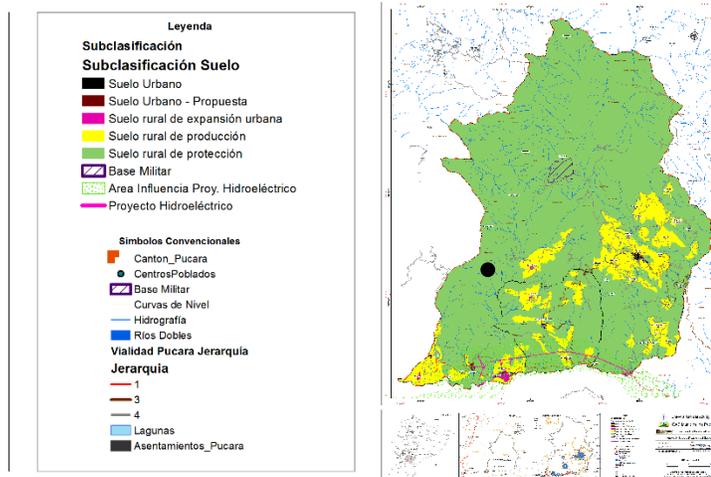


Ilustración 1.8. Uso de suelo del cantón Pucará
Fuente: departamento de planificación GAD Pucará

1.4. Situación actual del abastecimiento de agua

La situación actual del abastecimiento del agua potable es completamente desfavorable, pues carecen totalmente del servicio. El agua que usan para su consumo es agua entubada y en malas condiciones.

La fuente de abastecimiento actual de agua es una captación en la quebrada ubicada en la parte norte de la comunidad. Para el diseño se tomará de la fuente planteada por el GAD de Pucará, de una vertiente ubicada a unos 175 metros del río Peñas.

Para el análisis de las fuentes se tomaron dos muestras de agua en distintas épocas del año: en el invierno y verano.



Ilustración 1.9. Fuente de abastecimiento.

Fuente: los autores

1.5. Estudios

1.5.1. Análisis de suelos

Un análisis de suelo de implantación de la obra es de suma importancia, pues determina la capacidad soportante del suelo; es por ello que se debe realizar un estudio geotécnico previo al diseño de cualquier tipo de obra de infraestructura civil con el fin de garantizar que la estructura sea cimentada sobre terreno firme.

El análisis de suelo que se realiza para este proyecto consta de partes tales como: análisis granulométrico, análisis de límites de Atterberg, clasificación de suelo según el método AASHTO y según el método SUCS con una capacidad soportante de 1.5 Kg/cm².

1.5.1.1. Distribución granulométrica:

Un análisis granulométrico realizado por mallas se efectúa tomando una cantidad medida de suelo seco, bien pulverizado y pasándolo a través de una serie de tamices cada vez más pequeñas y con una charola en el fondo.

La cantidad de suelo retenido en cada malla se mide y el tanto por ciento acumulado de suelo que pasa a través de cada malla es determinado. Este porcentaje es generalmente denominado el “porcentaje que pasa”. La **Tabla 1.2** contiene una lista de los números de mallas utilizadas y el correspondiente tamaño de las aperturas.

Tabla 1.2. Mallas de análisis granulométrico.

Criba no.	Tamaño (mm)
4	4,750
6	3,350
8	2,360
10	2,000
16	1,180
20	0,850

30	0,600
40	0,425
50	0,300
60	0,250
80	0,180
100	0,150
140	0,106
170	0,088
200	0,075
270	0,053

Fuente: (Das, 2001)

1.5.1.2. Límites de Atterberg

Cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, este puede fluir como un semisólido. Si el suelo es secado gradualmente, se comportará como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de agua. Este, en tanto por ciento, con el que el suelo cambia de un estado líquido a un estado plástico se define como límite líquido (L.L.). Igualmente, los contenidos de agua, en tanto por ciento, con el que el suelo cambia de un estado plástico a un semisólido y de un semisólido a un sólido se define como el límite plástico (L.P.)

Para el análisis de suelo realizado para esta comunidad se tomaron tres muestras en ubicaciones aleatorias en donde se plantea implementar la planta de tratamiento del sistema de agua potable para la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo” del cantón Pucará.

En la **Ilustración 1.10** se muestra el aspecto del terreno donde se emplazará la captación, conducción, planta de tratamiento y distribución a sus habitantes de este proyecto de agua potable.

En el **Anexo 4** se puede verificar el informe de laboratorio y cálculos respectivos del estudio de suelos para este proyecto.



Ilustración 1.10. Suelo del terreno de la comunidad.

Fuente: los autores

1.6. Distribución de la población y características socioeconómicas

La población actual de la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo” tiene alrededor de 156 habitantes. Esta población está sujeta a un crecimiento poblacional establecido por un valor de incremento población según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo del Ecuador (INEC), pues al tratarse de un crecimiento poblacional este variará cuando las condiciones de vida mejoren: cuando la comunidad cuente con sistema de agua potable y alcantarillado.

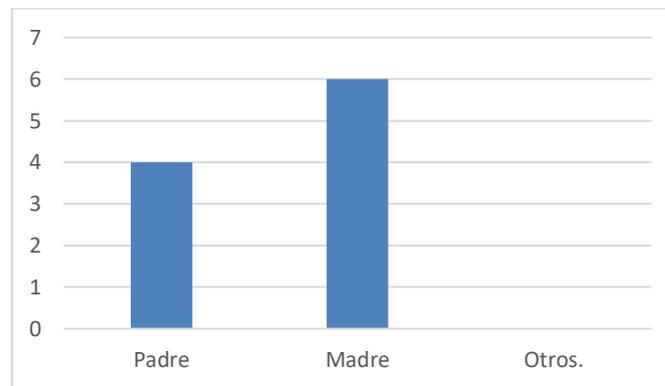
1.6.1. Información básica de la localidad

La siguiente información representa la tabulación de las encuestas de carácter socio económico realizadas a los habitantes de la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo” con la finalidad de obtener datos que se requieren para el futuro diseño del sistema de agua potable. Los datos que se muestran en los siguientes cuadros, **Tabla 1.3** a la **Tabla 1.6**, son datos recopilados en la encuesta aplicada del **Anexo 2**, cuyos datos son de importancia para el diseño.

Tabla 1.3. Persona entrevistada (jefe del hogar):

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Padre	4	40%
Madre	6	60%
Otros	0	0%
Totales:	10	100%

Los habitantes de la comunidad se dedican a diferentes ocupaciones, pero en su mayoría a la agricultura, ganadería y construcción. Finalmente, se puede determinar que se trata de una población de recursos económicos muy reducidos.

Gráfico 1.1. Persona entrevistada (jefe del hogar):


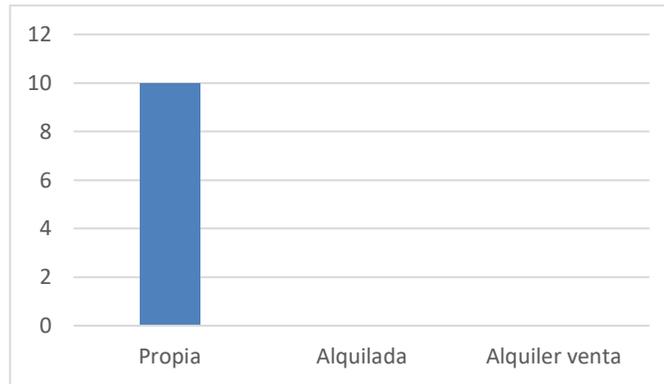
Fuente: habitantes de la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo”

Elaborado por: los autores

Se puede observar que un 60% corresponden al sexo femenino a quienes se les atribuyen como jefas del hogar y en un 40% son los padres.

Tabla 1.4. Tenencia de la vivienda:

Propia	10	Costo de la vivienda	
Alquilada	0	\$0-\$5000	0
Alquiler venta	0	\$5001-\$10000	10

Gráfico 1.2. Tenencia de la vivienda:


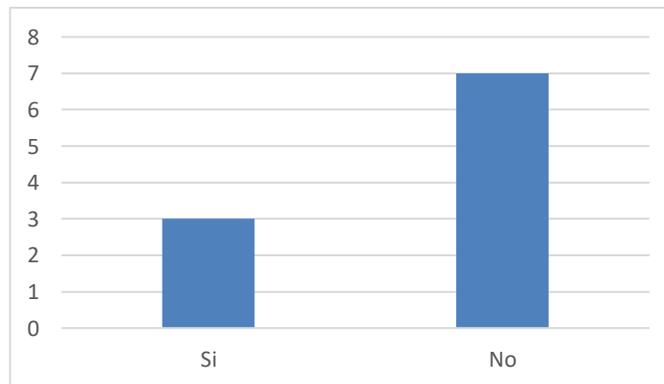
Fuente: habitantes de la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo”

Elaborado por: los autores

Las encuestas arrojan que el 100% de la población cuenta con vivienda propia, en las que por observación de los encuestadores no son viviendas de buenas condiciones para una vida confortable.

Tabla 1.5. Red de agua potable

Sí	3	30%	Pago Mensual	\$0-\$10	0
No	7	70%		\$10-\$20	0

Gráfico 1.3. Red de agua potable


Fuente: habitantes de la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo”

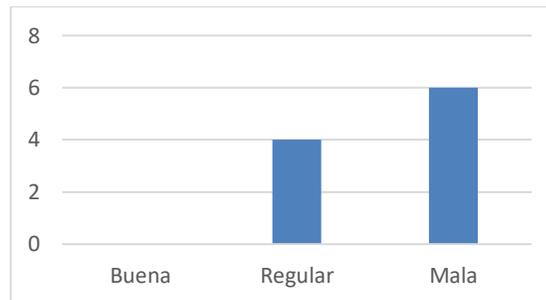
Elaborado por: los autores

El 70% de la población no tiene red de agua potable, el 30% contestó que sí a esta pregunta; sin embargo, a través de las visitas de campo realizadas, las condiciones de agua que cada uno de los habitantes consumen tiene un aspecto no tan favorable.

Tabla 1.6. Calidad del agua

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Buena	0	0%
Regular	4	40%
Mala	6	60%
Totales:	10	100%

Gráfico 1.4. Calidad del agua



Fuente: habitantes de la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo”

Elaborado por: los autores

El 60% de la población aseguró que la calidad del agua es mala y el 40% que es regular. Nadie señaló tener agua de buena calidad para su consumo.



Ilustración 1.11. Sociabilización con la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo”

Elaborado por: los autores

1.7. Revisión de la norma a utilizar

La norma que se va a usar es la del Código Ecuatoriano para el Diseño de la Construcción de Obras Sanitarias NORMA CO 10.7-602 que es responsable de las normas que deben regir el estudio, diseño, construcción y mantenimiento de las obras sanitarias en el Ecuador.

El alcance de estas normas es a nivel nacional. Todas las instituciones públicas o privadas, concejos municipales, consejos provinciales, empresas o juntas de agua potable y alcantarillado y otras instituciones que tengan a su cargo o que contratan el diseño o la fiscalización de diseños de sistemas de agua potable, alcantarillado, potabilización de aguas y depuración de aguas residuales, deberán utilizar obligatoriamente las normas presentadas en el código mencionado anteriormente.

“En caso contrario, esos proyectos no podrán ser aprobados por la Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento Básico ni por las Instituciones que otorgan préstamos para la construcción de obras sanitarias, tanto a nivel nacional como a nivel internacional” (Secretaría del Agua, 2007).

CAPÍTULO II

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DISEÑO

2.1. Definiciones generales

- **Periodo de diseño.** Lapso durante el cual la obra cumple su función satisfactoriamente sin necesidad de ampliaciones.
- **Vida útil.** Lapso de tiempo, luego del cual la obra o equipo debe ser reemplazado por obsoleto.
- **Población futura.** Número de habitantes que se espera tener al final del período de diseño.
- **Dotación media actual.** Cantidad de agua potable, consumida diariamente, en promedio, por cada habitante, al inicio del período de diseño.
- **Dotación media futura.** Cantidad de agua potable, consumida diariamente, en promedio, por cada habitante, al final del período de diseño.
- **Caudal medio anual.** Caudal de agua, incluyendo pérdidas por fugas, consumidas en promedio, por la comunidad.
- **Caudal máximo diario.** Caudal medio consumido por la comunidad en el día de máximo consumo.
- **Caudal máximo horario.** Caudal de agua consumido por la comunidad durante la hora de máximo consumo en un día.
- **Nivel de servicio.** Grado de facilidad y comodidad con el que los usuarios acceden al servicio que les brinda los sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas o residuos líquidos.
- **Fugas.** Cantidad no registrada de agua, pérdida por escape del sistema.
- **Factor de mayoración máximo diario (KMD).** Es la relación entre caudal máximo diario al caudal medio.
- **Factor de mayoración máximo horario (KMH):** Es la relación entre el caudal máximo horario al caudal medio.

2.2. Periodo de diseño

Es el número de años durante los cuales un sistema funciona adecuadamente para servir a una población. Se debe tomar en cuenta la vida útil de los materiales generalmente el máximo periodo de diseño es de 50 años de vida útil.

Para la determinación del periodo de diseño se deben considerar los siguientes aspectos:

- La vida útil de las estructuras y sus componentes.
- La relación anticipada de crecimiento de la población incluyendo posibles cambios en los desarrollos de la comunidad. Para el crecimiento lento de las poblaciones se toma un periodo de diseño mayor.
- El comportamiento de las estructuras al inicio del periodo de diseño o durante los primeros años de vida útil.

Es recomendable usar los periodos de diseño que se presentan en la siguiente **Tabla 2.7**.

Tabla 2.7. Periodo de diseño.

COMPONENTES	VIDA ÚTIL(AÑOS)
Diques grandes y túneles	50-100
Obras de captación	25-50
Pozos	10-25
Condiciones de hierro dúctil	40-50
Condiciones de asbesto cemento o PVC	20-30
Planta de tratamiento	30-40
Tanques de almacenamiento	30-40
Tubería secundarias y principales de la red:	40-50
- Hierro dúctil o cemento	20-25
-Asbesto cemento o PVC	20-25
Otros materiales	Variables de acuerdo a especificaciones del fabricante

Fuente: Código Ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras sanitarias

Como recomendación según el “Código de la Construcción”, no se debe diseñar obras con periodos de diseño menores a 15 años a excepción de los proyectos de

emergencia, por esta razón se ha elegido como periodo de diseño de 25 años (**Tabla 2.7**).

2.3. Población

La población se encuentra distribuida de forma concentrada en el área del proyecto y solo unas viviendas se encuentran semi-dispersas del centro de la comunidad. En la actualidad la población de “Las Peñas de Mollepongo” predomina la raza mestiza, el grupo familiar promedio es de 4 miembros por hogar dando un total de 24 familias, la tasa de crecimiento anual del cantón Pucará es del 0.22% (censo INEC, 2010). Según la distribución de los grupos de edades tenemos:

Tabla 2.8. Población de la comunidad

Población	Cantidad
Menores de 2 años	7
2 a 6 años	10
7 a 15 años	20
16 a 24 años	46
25 a mas	73
Total, de la población	156

Fuente: los Autores

Como se puede observar que 156 es el número de personas que van a gozar del sistema en el periodo de diseño. Se debe tomar en cuenta el tiempo en el cual se va a implantar el diseño. Para la recopilación de información del número de habitantes en la comunidad se realizaron las encuestas en todas las familias de la comunidad.

Existen varios métodos para el cálculo de la población de diseño de un sistema de agua potable; para este trabajo se hace énfasis en tres métodos de cálculo que son los siguientes: método geométrico, método aritmético y método exponencial, como se muestra en la. **Tabla 2.9**.

Tabla 2.9. Métodos de proyección poblacional.

Método	Fórmulas
Método geométrico	$P_f = P_a * (1+r)^n$
Método aritmético	$P_f = P_a * (1+r*n)$
Método exponencial	$P_f = P_a * e^{(r*n)}$

Fuente: NORMA CO 10.7-602

Donde:

P_f = población futura (habitantes).

P_a = población actual (habitantes).

r = tasa de crecimiento expresada como fracción decimal.

n = periodo de diseño (años).

Para la determinación de la población de diseño que será considerado en la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo” se usará el método geométrico y aritmético.

2.3.1. Tasa de crecimiento poblacional

Para el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional se tomará como base los datos estadísticos proporcionados por los censos nacionales y recuentos sanitarios. A falta de datos, se adoptarán los índices de crecimientos geométricos indicados en la siguiente tabla:

Tabla 2.10. Índices de crecimientos poblacionales.

Región geográfica	r(%)
Sierra	1.0
Costa, Oriente y Galápagos.	1.5

Fuente: NORMA CO 10.7-602

Para este diseño se tomó una tasa de crecimiento del 1% ya que se considera por su relieve que aun forma parte de la región Sierra

Población inicial:	156 habitantes
Periodo de diseño:	25 años
Tasa de crecimiento anual:	0.22%
Año inicial:	2017

Año final de diseño: 2042

Por lo tanto, la población futura se obtuvo los resultados:

Método geométrico: 201 personas

Método aritmético: 195 personas

Se adoptan los resultados por el método geométrico, ya que nos da como resultado un número mayor de habitantes al término del periodo de diseño, de esta manera, se garantiza un nivel de seguridad mayor en el sistema.

2.4. Niveles de servicio

Los niveles de servicio que posee cada comunidad dependerán de factores tales como: ubicación de la comunidad, niveles de agua, calidad de agua, clima, y otros. Para los niveles de servicio de este proyecto se considerará según la **Tabla 2.11**. Niveles de servicios que se detalla a continuación.

Tabla 2.11. Niveles de servicios.

Nivel	Sistema	Descripción
0	AP EE	Sistemas individuales. Diseñar de acuerdo a las disponibilidades técnicas, usos previstos del agua, preferencias y capacidades 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
IIa	AP EE	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa. Letrinas con o sin arrastre

		de agua.
I 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

Para el diseño se toma en consideración **I**b**** “conexiones domiciliarias con más de un grifo por casa sistema de alcantarillado sanitario”.

Según esta norma y utilizando las ecuaciones Ecuación 1), Ecuación 2) y Ecuación 3), se tiene los siguientes consumos:

$$\begin{aligned}
 Q_m &= 0.093 \text{ l/s} \\
 Q_{MD} &= 0.117 \text{ l/s} \\
 Q_{MH} &= 0.28 \text{ l/s}
 \end{aligned}$$

Con estos valores de caudal se diseña los diferentes componentes del sistema de agua para la comunidad de las Peñas. Los cálculos correspondientes se encuentran en el **Anexo 6** que se adjunta al documento.

2.5. Dotación

La dotación para un sistema de agua potable dependerá de varios factores como: ubicación de la comunidad, clima, población, y nivel de servicio, detallados en la **Tabla 2.12**. Dotación según la región. cuando se hace referencia al clima del lugar de implantación del sistema de agua potable.

Tabla 2.12. Dotación según la región.

Nivel de servicio	Clima frío (l/hab/día)	Clima cálido (l/hab/día)
Ia	25	30
Ib	50	65
IIa	60	85
IIb	75	100

Fuente: NORMA CO 10.7-602

La dotación para el diseño según la norma que se está usando es del **75 l/hab/día** para la región sierra.

En la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo” al tener una población real de 156 habitantes, se considera un nivel de servicio **IIb** la dotación para el diseño según la norma que se está usando (**75 l/hab/día** para la región sierra), según la norma en la **Tabla 2.12.** Dotación según la región.

2.6. Análisis de fugas

En el diseño de un sistema de agua potable es indispensable considerar las fugas debido a fallas en los accesorios, fallas en las tuberías, fallas en los elementos de consumos de la vivienda, entre otros. La norma de diseño considerará un porcentaje adicional a la dotación tomada para el diseño para un análisis de fugas como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.13. Porcentaje de fugas.

Nivel de servicio	Porcentaje de fugas
Ia y Ib	10 %
IIa y IIb	20%

Fuente: NORMA CO 10.7-602

Para el diseño se toma en consideración un porcentaje de fugas del 20% ya que se está tomando el nivel de servicio **IIb**. Pero se considera que el diseño de agua potable es para esta comunidad cuyo control de presiones será controlado y el porcentaje de fugas será menor por el cual se utilizará el porcentaje de fugas del 10%.

2.7. Caudal medio Q_m

El caudal medio será calculado mediante la siguiente ecuación:

$$Q_m = f * \frac{P * D}{86400} \quad (1)$$

En donde:

Q_m = caudal medio (l/s).

f = factor de fugas.

P = población al final del periodo de diseño.

D = dotación futura (l/hab/día).

2.8. Caudal máximo diario QMD.

El caudal máximo diario, se calculará con la siguiente ecuación:

$$QMD = KMD * Q_m \quad (2)$$

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.

2.9. Caudal máximo horario QMH.

El caudal máximo horario se calculará con la siguiente ecuación:

$$QMH = KMH * Q_m \quad (3)$$

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.

Según los cálculos tenemos los siguientes caudales, cuyos detalles de cálculo se encuentran en el **Anexo 6** que se adjunta al documento.

$$\begin{aligned} Q_m &= 0.192 \text{ l/s} \\ Q_{MD} &= 0.240 \text{ l/s} \\ Q_{MH} &= 0.576 \text{ l/s} \end{aligned}$$

2.10. Caudal domiciliario

El Q unitario para cada domiciliaria se obtiene:

$$Q_{unitario} = \frac{Q_{MH}}{No \text{ Domiciliarias}} \quad (4)$$

Mediante el cálculo se obtiene:

$$Q_{unitario} = \frac{0.576}{25} = 0.024 \frac{l}{s} / casa$$

2.11. Almacenamiento

La capacidad será el 50% del volumen medio diario futuro, pero en ningún caso el volumen será inferior a 10m³. Según la Norma (Normalización, 2016), 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 para el tanque de reserva:

$$V = 0.5 \times Q_m \text{ m}^3/dia \quad (5)$$

Mediante el cálculo se obtiene:

$$V = 0.5 \times 16.58 = 8.30 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Siendo el resultado menor a los 10m³ se toma en consideración la norma INEN para este caso.

2.12. Fuente de almacenamiento

Deberá asegurar un caudal mínimo de 2 veces al caudal máximo diario futuro calculado.

$$V = 2 \times QMD \quad (6)$$

Mediante el cálculo se obtiene:

$$V = 2 \times 0.24 = 0.48 \text{ l/s}$$

El caudal mínimo que debe existir en la vertiente es de 0.48 l/s

2.13. Captación

Esta debe contar con una capacidad que permita derivar del sistema de agua potable un caudal mínimo equivalente.

$$Q \text{ captación} = 1.2 \times QMD \quad (7)$$

Mediante el cálculo se obtiene:

$$Q \text{ captación} = 1.2 \times 0.24 = 0.29 \text{ l/s}$$

El caudal mínimo que debe existir en la captación es de 0.29 l/s

2.14. Conducción

Cuando no se requiere de bombeo en el diseño el caudal será de 1.1 veces el caudal máximo diario calculado al final del periodo de diseño.

$$Q \text{ conducción} = 1.1 \times QMD \quad (8)$$

Mediante el cálculo se obtiene:

$$Q \text{ conducción} = 1.1 \times 0.24 = 0.26 \text{ l/s}$$

El caudal mínimo que debe existir en la conducción es de 0.26 l/s

2.15. Tratamiento

La captación de la planta de tratamiento para la potabilización será de 1.1 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.

$$Q \text{ tratamieto} = 1.1 \times QMD \quad (9)$$

Mediante el cálculo se obtiene:

$$Q \text{ tratamiento} = 1.1 \times 0.24 = 0.26 \text{ l/s}$$

El caudal mínimo que debe existir para la planta de tratamiento es de 0.26 l/s

2.16. Distribución de agua potable

La red de distribución será diseñada para el caudal máximo horario.

$$Q \text{ red distribución} = QMH \quad (10)$$

Mediante el cálculo se obtiene:

$$Q \text{ red distribución} = 0.58 \text{ l/s}$$

El caudal mínimo que debe existir en la red de distribución es de 0.58 l/s

2.17. Aforo de la fuente de abastecimiento

La medida de un caudal mediante el método de aforo volumétrico sirve para aforar pequeños gastos y se lo realiza de la siguiente manera:

Se coloca un instrumento conductor convenientemente en el sitio de descarga de la fuente, a través de este medio de conducción se escurre el agua hasta un recipiente del cual se conoce el volumen, se mide el tiempo en el que este recipiente se llena y a través de la relación volumen / tiempo se determina el caudal, así:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (11)$$

Donde.

Q = caudal de aforo (l/s)

V = volumen de recipiente de aforo (l)

t = tiempo de llenado

Para efectos del estudio se dispuso de un recipiente de ocho litros de capacidad y se aforó en la vertiente señalada por el GAD de Pucará, donde se hará la captación para el sistema de agua potable para la comunidad “Las Peñas de Mollepongo”. En el aforo de la vertiente se realizaron cuatro tomas en intervalos de 15 minutos, con la finalidad de tener mayor precisión en los datos analizados, en la que se obtuvieron los siguientes resultados:

Datos obtenidos en la época de verano:

Tabla 2.14. Aforo en la época de verano.

Número de aforo	Volumen de aforo	Tiempo de llenado	Caudal de entrada	Caudal promedio
No	lts	seg	Q	l/s
1	8	12.93	0.619	0.647
2	8	11.87	0.674	
3	8	12.16	0.658	
4	8	12.54	0.638	

Fuente: los autores

Datos obtenidos en la época de invierno:

Tabla 2.15. Aforo en la época de invierno.

Número de aforo	Volumen de aforo	Tiempo de llenado	Caudal de entrada	Caudal promedio
No	lts	seg	Q	l/s
1	8	2.98	1.342	1.230
2	8	3.11	1.286	
3	8	3.24	1.235	
4	8	3.78	1.058	

Fuente: los autores



Ilustración 2.1. Aforo de la fuente
Fuente: los autores

2.18. Cuadro de resultados

Tabla 2.16. Cuadro de resultados

Datos requeridos previos al diseño.			
Descripción	Denominación	Valor	Unidad
Población actual	(Pa)	156	hab
Periodo de diseño	(n)	25	años
Método de diseño	--	Geométrico	s/u
Fórmula a utilizar	--	$Pf=Pa*(1+r)^n$	hab
Región geográfica	--	Sierra	s/u
Tasa de crecimiento	(r)	1.0%	(%)
Población de diseño	(Pf)	201	hab
Dotación de diseño	(D)	75	l/hab*día
Factor de fugas	(f)	10%	%
Caudal medio	(Qm)	0.192	l/s
Caudal máximo diario	(QMD)	0.240	l/s
Caudal máximo horario	(QMH)	0.576	l/s
Caudal de captación	(Q.capt.)	0.288	l/s

Caudal de conducción	(Q.cond)	0.264	l/s
Caudal de tratamiento	(Q.Trat)	0.264	l/s
Caudal domiciliario	(Q.dom)	0.024	l/s

Fuente: los autores

2.19. Sistema de agua potable

Descripción del sistema

El sistema de agua potable para la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo” consiste en lo siguiente:

1. Captación mediante galerías de infiltraciones.
2. Determinar volumen de la caja de almacenamiento de las galerías de infiltraciones.
3. Diseño de la conducción del agua cruda.
4. Análisis de alternativas de diseño para el tratamiento de agua.
5. Diseño de la planta de tratamiento con cada una de sus etapas.
6. Diseño del tanque de reserva.
7. Pérdidas unitarias, presiones y velocidades de la red de agua potable.
8. La sectorización de la red de distribución.
9. Red de distribución.
10. Análisis de alternativas y accesorios.

2.19.1. Captación

Para el diseño de la captación se tomó en consideración el método de galerías de infiltraciones mediante el cual, de acuerdo con las normas de diseño proporcionadas por el Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA) para el diseño se debe cumplir con los siguientes parámetros.

- Suma total de orificios/ área de lecho = 0.0015 – 0.005.
- Suma de área de orificios del lateral / área del lateral = 0.3-0.5.

- Área del lateral/área principal = 0.3-0.5.
- Diámetro de orificios = 6 – 19mm.
- Espaciamiento entre orificios = 0.1-0.3 m.
- Espaciamiento entre laterales = 0.5 – 1.0 m.

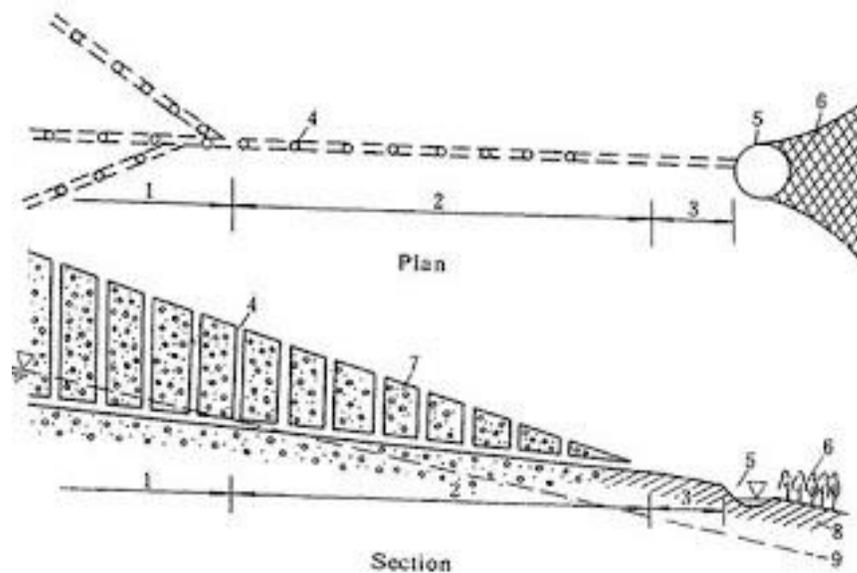


Ilustración 2.2. Galería de infiltración
Fuente: página web: hidrología y conservación

La galería de infiltración consiste en una serie de tuberías perforadas que forman un ramal cuya función es captar y conducir el agua a un tanque para su posterior uso, como se muestra en la **Ilustración 2.2.** Galería de infiltración. El respectivo cálculo se podrá analizar en el Anexo 6.3.

2.19.2. Volumen de la caja de almacenamiento

Se calcula el volumen de la caja en la cual se almacena el agua infiltrada por las galerías, mediante la siguiente fórmula

$$V = Q * t \quad (12)$$

Donde:

V = volumen de la caja en (m³)

Q = caudal en (m³/seg)

t = tiempo de retención en (seg)

2.19.2.1. Dimensiones de la caja de almacenamiento

$$V_s = \sqrt{\frac{4gd(pr - 1)}{3Cd}} \quad (13)$$

Dónde:

V_s = velocidad de sedimentación (m/seg)

g = gravedad (m/seg²)

d = diámetro de las partículas de arena (m)

pr = constante de arena

C_d = coeficiente de arrastre

$$C_d = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34 \quad (14)$$

Dónde:

Re = número de Reynolds

$$Re = \frac{V_s(d)}{\nu} \quad (15)$$

Dónde:

ν = viscosidad constante 1.31×10^{-6} m²/seg

$$V_h = F_s * 12.5 \sqrt{(\rho - 1)d} \quad (16)$$

Ecuación 16

Dónde:

V_h = velocidad horizontal (m/seg)

F_s = factor de seguridad (0.25-0.5)

$$At = \frac{Q}{V_h} \quad (17)$$

Dónde:

At = área total

$$Lc = h \frac{Vh}{Vs} \quad (18)$$

Dónde:

Lc = longitud de la cámara

h = altura de la cámara

$$h = \frac{At}{b} \quad (19)$$

Dónde:

b = base de la caja

2.19.3. Diseño de la conducción de agua cruda

Para el diseño de la conducción del agua cruda se toma a el tipo de conducción a gravedad. Los parámetros que se deben considerar son: las presiones en los puntos críticos de diseño y las pérdidas que se pueden dar a lo largo de la conducción, las cuales se encuentran descritas en los párrafos a continuación, según la norma puede existir varios tipos de sistemas cumpliendo los parámetros de presiones. (Norma CO 10.7 - 602, 1992)

- La presión máxima será de 50 m.c.a.
- La presión dinámica será de 20 m.c.a.
- La presión dinámica mínima será de 5 m.c.a.
- El diámetro de los conductos de la red mínima nominal será de 19mm (3/4")
- La red debe disponer de válvulas que permitan independizarse sectores para su operación y mantenimiento, sin tener que suspender el mismo.
- El diámetro mínimo de las tuberías en la línea de conducción será de 25 mm (1")
- Deberá existir una solo conexión por cada vivienda.

- Cada conexión domiciliaria deberá cumplir con los elementos necesarios que aseguran el acoplamiento a la matriz
- El medidor debe ubicarse en un lugar accesible (Norma CO 10.7 - 602, 1992)

2.19.4. Análisis de alternativas de diseño para el tratamiento de agua



Ilustración 2.3. Vertiente de agua.

Fuente: los autores

2.19.4.1. Calidad de agua

Es muy importante controlar la calidad del agua de acuerdo a los estándares y especificaciones establecidas en las normas de diseño. Con estos parámetros se puede validar el nivel de calidad de agua para el consumo humano.

Para ello, la calidad del agua se deberá analizar en cuanto a sus características: físicas, químicas y bacteriológicas, una vez obtenido los resultados de estos análisis se podrá definir el tipo de tratamiento de agua que se requerirá para el proyecto.

2.19.4.1.1. Características físicas

Turbiedad. La turbiedad se debe especialmente a materias en suspensión, tales como arcilla y otras sustancias inorgánicas finamente divididas o materias similares y organismos microscópicos.

Color. Es la impresión ocular producida por las materias en el agua. Es importante distinguir entre el color aparente y el color verdadero. El color aparente está ligado a la turbiedad, en cambio el verdadero depende de las sustancias minerales disueltas, especialmente sales de hierro y magnesio, y materiales coloidales de origen orgánico.

Olor. El olor en el agua es producido por las materias volátiles contenidas en ella.

Sabor. El sabor es la sensación gustativa producida por materias contenidas en el agua.

Temperatura. La temperatura del agua en verano debe ser inferior a la temperatura ambiente y en invierno debe ocurrir lo contrario. Se estima que el agua comprendida a una temperatura entre 5 y 15 grados centígrados, es agradable.



Ilustración 2.4. Muestra para el análisis físico.

Fuente: los autores

2.19.4.1.2. Características químicas

Las sustancias minerales contenidas en el agua deben quedar comprendidas entre los límites, que la experiencia ha encontrado necesario o tolerable para el consumo humano, los cuales en su mayor parte han sido establecidas en las normas:

pH. Corresponde al logaritmo del recíproco de la concentración del H⁺ expresado en iones-gramos por litros. Si el agua tiene un pH inferior a 7 se le considera como ácida y si es superior es básica.

Alcalinidad. Está dado por la cantidad de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos; se determina con, fenolftaleína y su concentración de carbonato de calcio no será mayor de 15 ppm. Esta condición limita al pH a 10.6 a una temperatura de 25 grados centígrados.

Acidez. Se considera como la capacidad que posee para neutralizar bases es la medida de sustancias ácidas en el agua.

Dureza. Se denomina así al contenido de sales de calcio y magnesio en el agua, además está constituido también por sales de hierro, cobre, bario, zinc, plomo, las que se encuentran en pequeñas proporciones.



Ilustración 2.5. Muestra para el análisis químico.

Fuente: los autores

2.19.4.1.3. Características bacteriológicas

Coliformes. Los coliformes son aquellas bacterias que poseen los hombres y los animales de sangre caliente, bacterias de forma bacilar, aeróbicas y facultativas anaerobias. La presencia de coliformes indica contaminación proveniente de residuos humanos, animales. La más relevante es la *Escherichia coli*, dicha bacteria que pertenece al grupo de coliforme fecal, son las que provocan enfermedades.

2.19.4.2.1. Análisis de alternativas de tratamiento

Para el tratamiento del agua se usará mediante el método convencional FIME el cual consta de una serie de filtros múltiples. Según el nivel de riesgo del agua se deben tomar en consideración los siguientes parámetros que se muestran en la **Tabla 2.17**.

Método convencional FIME

Tabla 2.17. Nivel de riesgo.

NIVEL DE RIESGO			
ANÁLISIS	BAJA	INTERMEDIA	ALTA
Turbiedad	≤ 10 UNT	< 20 UNT	< 50 UNT
Color	≤ 20 UPC	< 30 UPC	< 40 UPC
Coliformes Fecales	< 500 NMP/100ml	< 10000 NMP/100ml	< 20000 NMP/100ml
No de niveles	F.G.D + F.L.A	F.G.D+F.L.A+F.G.C	F.G.D+2 F.G.S+F.L.A
	2 niveles	3 niveles	3 niveles

Fuente: (INTERAGUA, 1998)

Es un abastecimiento por el cual el agua tiene una serie de redes a partir de una fuente superficial como: vertiente, quebrada o ríos. Requieren de un tratamiento previo para ser distribuida, que por lo general este tratamiento se hace en las partes altas de las comunidades con un fin de abastecer a todos los habitantes sin tener que adicionar costos de bombeo para la distribución del agua, y que exista presión en todos los puntos de repartición de la red.

En la tabla mostrada a continuación se detalla dos aspectos importantes considerados como ventajas y desventajas en un sistema de tratamiento.

Tabla 2.18. Ventajas y desventajas del sistema de tratamiento.

Ventajas	Desventajas
Se dispone de agua las 24 horas del día.	Requiere mayor inversión por el tratamiento previo que se necesita para eliminar cualquier tipo de sustancias que puedan afectar a la salud de los habitantes de la comunidad.
Nivel de servicio por conexiones domiciliarias	Se requiere de personal capacitado para la operación y el mantenimiento de la planta de tratamiento.

Fuente: los autores

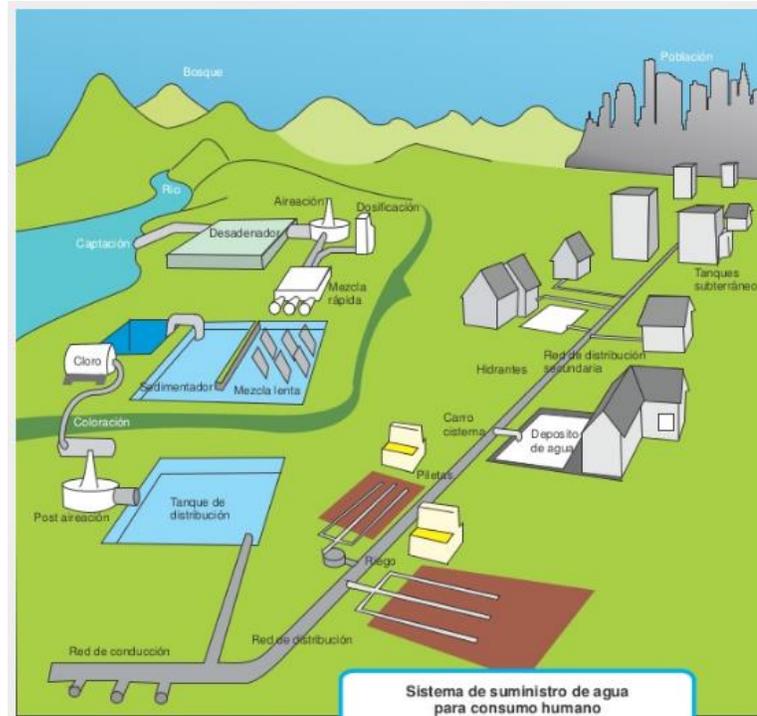


Ilustración 2.6. Sistema de suministro de agua para consumo humano.

Fuente: manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de nuestras aguas.

2.19.4.2.2. Filtro grueso ascendente

El método de filtrado de arena es uno de los más eficientes para retener los sólidos que se encuentra en el agua; mejora considerablemente la turbiedad, color, hierro, magnesio y coliformes.

El filtro grueso ascendente consta de las siguientes partes:

1. **Cámara de filtración:** se dimensiona según el caudal que se va a tratar.
2. **Lecho filtrante:** donde se encuentra las capas de arena.
3. **Estructura de entrada:** constituida por un canal que direcciona el flujo de agua hacia la cámara de entrada de los filtros.
4. **Estructura de salida:** consta de una tubería perforada en el fondo por donde se drena el agua filtrada.

5. **Sistema de lavado o drenaje:** permite que se realice un lavado de la planta de tratamiento, se considerará que el nivel mínimo de filtro estará entre los 0 y 0.10m por encima del lecho filtrante.
6. **Accesorios:** los accesorios que intervienen son las válvulas de control y dispositivos de drenaje.

a) Granulometría del lecho filtrante

La composición granulométrica de la cama del lecho filtrante para el sistema de tratamiento de agua se muestra en la **Tabla 2.19**, para lograr la composición adecuada de grava, se deberá realizar el procedimiento especificado en el apartado 2.19.4.2.3. de este documento.

Tabla 2.19. Granulometría del lecho filtrante.

Tamaño de grava (mm)	Altura (m)					
	FGAC	FGAS2		FGAS3		
		1	2	1	2	3
19-25	0.30*	0.30*		0.30*	0.20*	
13-19	0.2-0.30	0.30-0.45	0.20*	0.15	0.15*	0.15*
6-13	0.15-0.20	0.30-0.45	0.15*	0.45-0.75	0.15*	0.15*
3-6	0.15-0.20		0.30-0.45		0.40-0.70	0.15*
1.6-3	0.10-0.20		0.25-0.45			0.45-0.75
Total (mm)						
Soporte	0.30	0.30	0.35	0.30	0.50	0.45
Lecho filtrante	0.60-0.90	0.60-0.90	0.55-0.85	0.60-0.90	0.40-0.70	0.45-0.75

Fuente: (ETAPA-EP, Memoria de cálculo Plan de Saneamiento para Cuenca, 2012)

*Lecho soporte

FGAS2: filtración gruesa ascendente en serie de 2 etapas.

FGAS3: filtración gruesa ascendente en serie de 3 etapas.

b) Criterios de diseño para los filtros ascendentes

Tabla 2.20. Criterios de diseño de filtros ascendentes.

Criterio	Valores recomendados
Período de diseño (años)	8-12
Período de operación (h/d) (*)	24
Velocidad de filtración (m/h)	0.3-0.6
Número mínimo de unidades en serie:	
-FGAC	1
-FGAS	2-3
Área de filtración por unidad (m ²)	<20
Lecho filtrante	
Longitud total (m)	
-FGAC	0.6-0.90
-FGAS	1.15-2.35
Tamaño (mm)	
Lecho de soporte total	
-Longitud	0.3-1.25
-Tamaño	
Altura del sobrenadante de agua (m)	0.10-0.20
Carga estática mínima de agua para lavado en contra flujo (m)	3.0

Fuente: (ETAPA-EP, Memoria de cálculo Plan de Saneamiento para Cuenca, 2012)

c) Eficiencia de tratamiento por el FGA

Tabla 2-21: Eficiencia de tratamiento por el FGA.

EFICIENCIAS DE TRATAMIENTO POR FGA	
Parámetro	Reducción típica
Sólidos suspendidos.	Se logra reducir hasta el 95%, el 90% por lo general se reporta en fuentes con altos contenidos de sólidos suspendidos, en fuentes donde estos tienen un rango de 5 a 50 mg/l se remueve al 90%.
Turbiedad	Se reducen del 50% al 80% en fuentes superficiales localizadas en valles, siendo mayor en fuentes superficiales de ladera es decir con una remoción del 50% al 90%.
Color real	Se reduce entre el 20% y 50%.
Hierro, magnesio	Se reduce aproximadamente el 50%
Coliformes termo resistentes	Se reduce entre 0.66 y 2.5 unidades logarítmicas siendo mayor para este filtro, tratando con contaminación bacteriológica de 20000 a 100000 UFC/100 ml y contenidos de sólidos suspendidos entre 20 y 200 mg/l. Es menos eficiente en fuentes con calidad bacteriológica entre 500 y 20000 UFC/100 ml.

Fuente: ETAPA (2012-2014). (ETAPA-EP, Memoria de cálculo Plan de Saneamiento para Cuenca, 2012)

2.19.4.2.3. Filtro lento de arena

El filtro lento de arena tiene como objetivo mejorar la calidad del agua mediante la reducción de microorganismos, materia coloidal y cambios en la composición química.

El filtro lento consta de las siguientes partes:

1. **Caja de filtración:** depende directamente del caudal que se va a filtrar.
2. **Estructura de entrada:** consta de un vertedero y con dispositivo de medición y control de flujo.
3. **Capa de agua sobrenadante:** es la encargada en dar la carga hidráulica a través del lecho de arena.
4. **Lecho filtrante:** está constituido por arena fina.
5. **Sistema de drenaje:** consta de un vertedero de salida ubicado a 0 – 0.10m por encima del lecho filtrante.
6. **Dispositivos para la regulación y control de flujo:** consta de válvulas, dispositivos de drenaje y las válvulas para drenar el agua tratada para luego suministrar en un depósito para su almacenamiento.

Criterios de diseño para los filtros lentos de arena

Tabla 2.22. Criterio de diseño para filtros lentos de arena.

Criterio de diseño	Recomendación			
	Huisman and Wood (1974)	Ten States Standards (1987)	Visscher et al. USA (1987)	Cinara, IRC (1997) Colombia.
Periodo de diseño (años)	n.e.	n.e.	10-15	8-12
Periodo de operación (h/d)	24	n.e.	24	24
Velocidad de filtración (m/h)	0.1-0.4	0.08-0.24	0.1-0.2	0.1-0.3
Altura de arena (m)				
-Inicial	1.2	0.8	0.9	0.8
-Mínima	0.7	n.e.	0.5	0.5
Diámetro efectivo (mm)	0.15-0.30	0.15-0.35	0.30-0.45	0.15-0.20
Coeficiente de uniformidad				

-Aceptable -Deseable	<3 <2	≤2.5 n.e.	<5 <3	<4 <2
Altura del lecho de soporte incluye drenaje (m)	n.e.	0.4-0.6	0.3-0.5	0.25
Altura de agua sobrenadante (m)	1-1.5	0.9	1	0.75(*)
Borde libre (m)	0.2-0.3	n.e.	0.1	0.1
Área superficial máxima por modulo (m ²)	n.e.	n.e.	<200	<100

Fuente: ETAPA (2012-2014).

(*) Con desarrollo exponencial en la pérdida de carga en estudios a nivel piloto
n.e. No especificado.

2.19.5. Diseño de la planta de tratamiento

Para el diseño de la planta de tratamiento se toma en consideración los resultados del análisis de agua y comparamos con los parámetros permisibles de la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

Tratamiento a emplear

De acuerdo a la normativa ecuatoriana de calidad de agua para el abastecimiento de agua potable, señala los posibles tratamientos que se pueden aplicar en el proyecto según las características del agua; estas especificaciones se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.23. Características del agua

Características del agua	Tratamiento probable
Turbiedad media < 10 UNT Coliformes < 1000/100ml	Filtración lenta
Turbiedad media < 50 UNT Coliformes < 1000/100ml	Filtración lenta con pre tratamiento
Turbiedad media < 150 UNT Coliformes < 5000/100ml	Filtración lenta con sedimentación simple y pre tratamiento.

Fuente: CEC Diseño de instalaciones sanitarias 1997

La OPS muestra una tabla en la que se puede elegir el tipo de tratamiento adecuado para el proyecto y de acuerdo a los resultados que se hayan obtenido en el informe de análisis de agua; estos criterios que especifica dicha organización, se detallan a continuación:

Tabla 2.24. Criterios de selección de filtración

Alternativas	Límites de calidad del agua cruda aceptables		
	90% del tiempo	80% del tiempo	Esporádicamente
Filtro lento de arena (FLA) solamente.	To ≤ 50 UNT Co ≤ 50 Uc Cf ≤ (10 ⁴)/100 ml	To ≤ 20 UNT Co ≤ 40 UC	To Max ≤ 100 UNT
F.L.A. + prefiltro de grava (PG)	To ≤ 100 UNT Co ≤ 60 Uc Cf ≤ (10 ⁴)/100 ml	To ≤ 60 UNT Co ≤ 40 UC	To Max ≤ 150 UNT
F.L.A + P.G. + sedimentador (S)	To ≤ 300 UNT Co ≤ 60 Uc Cf ≤ (10 ⁴)/100 ml	To ≤ 200 UNT Co ≤ 40 UC	To Max ≤ 500 UNT
F.L.A + P.G. + S + pre-sedimentador	To ≤ 500 UNT Co ≤ 60 Uc Cf ≤ (10 ⁴)/100 ml	To ≤ 200 UNT Co ≤ 40 UC	To Max ≤ 1000 UNT

Fuente: Organización Panamericana de la Salud (OPS)

Donde:

Co = color del agua cruda.

Cf = coliformes fecales.

To = turbiedad del agua cruda.

UC = unidades de color cloro platinado de cobalto.

UNT = unidades Nefelométricas de turbiedad.

Para la selección del tratamiento, según las recomendaciones de las normativas mencionadas en la **Tabla 2.22. Criterio** de diseño para filtros lentos de arena. y **Tabla 2.23. Características del agua** se analizarán los resultados del análisis físico-químico-bacteriológico obtenidos del laboratorio el que se puede observar en el **Anexo 5**, sin

embargo, la **Tabla 2.25**. Resultados obtenidos en laboratorio que se muestra a continuación, ayudará a seleccionar el tipo de tratamiento:

Tabla 2.25. Resultados obtenidos en laboratorio

Resultados obtenidos en el laboratorio		
Denominación	Valor obtenido en análisis	Unidad de medición
Color aparente	34	UC, Pt Co
Color real	18	UC, Pt Co
Turbiedad	6.31	UNT
Coliformes	380.0	U.F.C/100 ml..

Fuente: los autores

Con los resultados que se han obtenido en el laboratorio se realizará una comprobación de estado para la elección del tratamiento a aplicar en el proyecto esta comparación se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.26. Estado de resultados al tratamiento

Estado de resultados al tratamiento					
Resultados obtenidos en el laboratorio			Requisitos de filtro lento solamente		Estado de verificación
Denominación	Valor obtenido en análisis	Unidad de medición	Valor requerido al 90% de tiempo.	Valor requerido al 80% de tiempo.	
Color aparente	34	UC, Pt Co	≤ 50	≤ 40	Cumple.
Color real	18	UC, Pt Co	≤ 50	≤ 40	Cumple.
Turbiedad	6.31	UNT	≤ 50	≤ 20	Cumple.
Coliformes	380.0	U.F.C/100 ml..	$\leq 10^4/100\text{ml}$	N.E	Cumple.

Fuente: los autores.

Con la **Tabla 2.26**. Estado de resultados al tratamiento que muestra el estado de resultados se puede decir que la calidad de agua cruda de la comunidad requiere únicamente de un filtro lento, de acuerdo a las características analizadas. Es por ello que la alternativa a seleccionar en el diseño del proyecto será filtro lento de arena, cuyo procedimiento de cálculo se especificará en el **Anexo 6.4**.

2.19.5.1. Caja de recolección

$$V = Q \cdot t \quad (20)$$

Donde:

V = volumen del tanque (m³)

Q = caudal de entrada (m³/seg)

t = tiempo de retención (min)

2.19.5.1.1 Dimensiones de la caja

$$L = \frac{V}{b \cdot h} \quad (21)$$

Dónde:

b = base de la caja (m)- impuestas.

h = altura del agua (m)- impuestas.

2.19.5.1.2. Calculo para el vertedero

$$H = \left(\frac{Q_f}{1.40}\right)^{2/3} \quad (22)$$

Dónde:

H = altura del agua del vertedero en (m)

Q_f = caudal de filtración (lt/seg)

2.19.5.1.3. Altura del vertedero

$$h = 2 \cdot H \quad (23)$$

Donde:

h = altura del vertedero en (m)

H = altura del agua del vertedero (m)

2.19.5.1.4. Longitud del vertedero (Lv)

$$Lv = 2 \cdot h \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \quad (24)$$

Donde:

Lv = longitud del vertedero (m)

h = altura del vertedero (m)

α = ángulo del vertedero 90°

2.19.5.1.5. Ancho del vertedero

$$a = 2 \cdot H \quad (25)$$

Donde:

a = ancho del vertedero

H = altura del vertedero (m)

2.19.5.1.6. Área del vertedero

$$A = H \cdot a \quad (26)$$

Donde:

A = área del vertedero en (m²)

H = altura del agua del vertedero (m)

a = ancho del vertedero (m)

2.19.5.1.7. Velocidad del vertedero

$$V = \frac{Qf}{A} \quad (27)$$

Donde:

V = velocidad del agua en el vertedero (m/seg)

Qf = caudal de filtración (lt/seg)

A = área del vertedero (m²)

2.19.5.2. Longitud de la cámara de almacenamiento

$$y = 0.5 \cdot g \cdot t^2 \quad (28)$$

Donde:

y = la longitud de la cámara (m)

g = gravedad (m/seg²)

t = tiempo de retención (seg)

2.19.5.3. Diseño de los filtros

En la **Tabla 2.27** se observa parámetros importantes a considerar en el diseño de la planta de tratamiento tal como: la tasa de filtración, altura del filtro, granulometría de la cama de filtración, material soportante y material sobrenadante; esta composición de los filtros es una recomendación para el diseño del filtro grueso ascendente y el filtro lento de arena.

Tabla 2.27. Sistemas de tratamiento de agua.

Sistema	Tasa de Filtración	Altura(m)	Granulometría	Material soportante	Material sobrenadante
F.G.D	24 - 36 m/d	0.6 m	0.2 m	3 -6 mm	
			0.2 m	6 - 13 mm	
			0.2 m	13 - 25 mm	
			0.1 m	1.5 - 3 mm	0.3 m
F.G.C y F.G.S.	7 - 15 m/d	0.6 - 0.9 m	0.15 m	3 - 6 mm	
			0.15 m	6 - 13 mm	
F.L.A	2 - 12 m/d	0.8 m	0.2 m	13 - 19 mm	
			0.15 - 0.3m		0.2 m

Fuente: (Abad Calle & Flores Flores, 2014)

2.19.5.3.1. Área de los filtros

El área depende directamente de la carga hidráulica para lo cual se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros:

Filtro grueso dinámico: está entre 24 – 36 m/d

Filtro lento de arena: está entre los rangos 2 – 5 m/d

$$A = \frac{Q/2}{CH} \quad (29)$$

Donde:

A = área de los filtros

Q = caudal en (m³/seg)

2.19.5.4. Caudal de lavado

$$Q_o = \left(\frac{\pi \cdot \varphi^2}{4} \right) \cdot V_o \quad (30)$$

Donde:

Q_o = caudal del orificio

φ = diámetro del orificio (mm)

V_o = velocidad del orificio en (m/seg)

2.19.5.5. Sistema de drenaje

$$N_o = \frac{\frac{Q_l}{\text{laterales}}}{Q_o} \quad (31)$$

Donde:

N_o = número de orificios

Q_l = caudal de lavado (m³/seg)

Q_o = caudal del orificio (m³/seg)

Laterales = dependerá de la longitud del filtro

2.19.5.6. Cloración

La cloración es una de las etapas más importante del tratamiento para purificar el agua y que sea adecuada para el consumo humano. Mediante los análisis de agua realizados se puede considerar una cantidad necesaria de cloro para su desinfección.

Una vez que el agua ha pasado por el filtro lento de arena se debe tomar en consideración la cloración, a través de un dosificador automático, en donde por goteo se colocará el hipoclorito de calcio.

Mediante la Norma Co 10.7 - 601 “Sistema de abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas residuales”, donde según el pH se coloca la dosificación mínima de cloro según la Tabla 2.28 para una desinfección eficaz del agua.

Tabla 2.28. Concentración de cloro.

MÍNIMAS CONCENTRACIONES RESIDUALES DE CLORO REQUERIDAS PARA UNA DESINFECCIÓN EFICAZ DEL AGUA		
pH del agua	Cloro libre residual, mg/lit, tiempo mínimo de contacto, 10 minutos	Cloro residual combinado, mg/lit, tiempo mínimo de contacto, 60 minutos
6_7	0,2	1
7_8	0,2	1,5
8_9	0,4	1,8
9_10	0,8	No se recomienda
más de 10	0,8(con mayor periodo de contacto)	No se recomienda

Fuente: (Norma CO 10.7 - 602, 1992)

2.19.6. Tanque de reserva

El uso de los tanques de reserva o tanques de almacenamiento que la función que cumple es la de abastecer y distribuir el agua tratada. Para su diseño se debe considerar que es el 50% del volumen diario futuro y además no puede ser menor a los 10m^3 (Norma CO 10.7 - 602, 1992).

El volumen del tanque se calcula:

$$V = \frac{\left(Q_m \cdot \frac{86400}{1000}\right)}{2} \quad (32)$$

Donde:

V = volumen del tanque (m^3)

Q_m = caudal medio diario (m^3/seg)

2.19.7. Pérdidas unitarias, presiones y velocidades

Las pérdidas unitarias deben tomar en cuenta la presión en las que trabajan: la tubería, el diámetro y, sobre todo, la topografía en la que se encuentra el diseño. Las fórmulas en las que se basa para calcular las pérdidas son:

1. Darcy Weisbach
2. Flamant
3. Hazen Williams

En el diseño también se debe considerar las pérdidas por los mecanismos que, como las válvulas, codos, tees y reducciones de presiones.

2.19.7.1. Fórmula de Darcy- Weisbach

Para calcular las pérdidas de fricción se calcula con la siguiente formula:

$$hf = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (33)$$

Dónde:

hf = pérdida de carga distribuida en (m)

f = coeficiente de pérdida de carga distribuida

L = longitud de la tubería (m)

g = gravedad en (m/seg²)

D = diámetro de la tubería (m)

V = velocidad del líquido (m/seg)

2.19.7.2. Fórmula de Flamant

Para calcular las pérdidas en las tuberías se usa la fórmula de Flamant para diámetros menores a 50mm para las instalaciones domésticas.

$$St = \frac{4bv^{7/2}}{d^{3/2}} \quad (34)$$

Donde:

St = pérdida de carga

b = coeficiente de Flamant (**Tabla 2.29**)

v = velocidad del agua en (m/seg)

d = diámetro interno de la tubería en (m)

Para el coeficiente de Flamant se usa la siguiente tabla en la cual se especifica según el material que se va a usar.

Tabla 2.29. Coeficiente de Flamant.

Material de la tubería	B
Hierro o acero	0.00023
Nuevos metálicos	0.000185

Concreto	0.000185
PVC	0.0014

Fuente: (De Azevedo Netto, 1991)

2.19.7.3. Fórmula de Hazen-Williams

Esta fórmula sirve para tuberías rugosas que son recomendadas para tuberías mayores a los 50mm, está dada por la siguiente expresión:

$$hf = \frac{10.667}{D^{4.87}} \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} \quad (35)$$

Donde:

hf = pérdida (m)

D = diámetro externo de la tubería (m)

L = Longitud (m)

Q = caudal m³/seg

C = valor de la rugosidad (Se asume C=145-PVC) **Ilustración 2.7**

COEFICIENTE DE HAZEN-WILLIAMS PARA ALGUNOS MATERIALES			
Material	C	Material	C
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro fundido, nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-140	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

Ilustración 2.7. Coeficiente de rugosidad.

Fuente: (ETAPA-EP, Memoria de cálculo Plan de Saneamiento para Cuenca, 2012).

2.19.7.4. Presiones.

Para el cálculo de las presiones se usa la ecuación de Bernoulli

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + hf \quad (36)$$

Donde:

Z = cota con respecto al nivel de referencia

P/ γ = altura de carga de presión en (m)

V = velocidad media.

hf = pérdida de carga que se produce en cada punto.

2.19.7.5. Velocidades

Para el cálculo de las velocidades influye directamente el diámetro de las tuberías y para su cálculo la fórmula que se aplica es la de Manning:

$$V = \frac{R^{2/3} S_0^{1/2}}{n} \quad (37)$$

Donde:

V = la velocidad del agua por la que recorre en el tubo (m/seg)

R = radio interior de la tubería en (m)

So = pendiente de la tubería

n = coeficiente de rugosidad de la tubería (**Tabla 2.30**).

Valores del coeficiente de rugosidad.

Tabla 2.30. Coeficiente de rugosidad.

Material	N
PVC	0.009
Asbesto cemento	0.010
Hierro fundido nuevo	0.013
Hierro fundido usado	0.017

Concreto liso	0.012
Concreto rugoso	0.016
Mampostería con concreto de cemento	0.020
Acero con revestimiento interior	0.011
Acero sin revestimiento	0.014
Acero galvanizado nuevo o usado	0.014

Fuente: (ETAPA-EP, Memoria de cálculo Plan de Saneamiento para Cuenca, 2012)

Para tener un diseño óptimo se debe tomar en cuenta los siguientes valores para las velocidades de diseño según la siguiente la **Tabla 2.31**.

Tabla 2.31. Velocidad máxima y velocidad mínima.

Material de la tubería	Velocidad máxima	Velocidad mínima
Concreto simple hasta 45 cm de diámetro	3.00	0.30
Concreto reforzado a partir de 60cm de diámetro	3.00	0.3
Acero con revestimiento	3.00	0.30
Acero sin revestimiento	3.00	0.30
Acero galvanizado	3.00	0.30
Asbesto cemento	3.00	0.30
Hierro fundido	5.00	0.30
Hierro dúctil	5.00	0.30
PEAD (polietileno de alta densidad)	5.00	0.30
PVC (policloruro de vinilo)	5.00	0.30
PRFV(polyester reforzado con fibra de vidrio)	5.00	0.30

Fuente: (ETAPA-EP, Memoria de cálculo Plan de Saneamiento para Cuenca, 2012).

2.19.8. Sectorización de la red de distribución.

La sectorización de la red de distribución consiste en ramificar la red principal para obtener mejores condiciones hidráulicas como velocidad, caudal y presión con el fin de facilitar su operación y poder controlar los caudales en cada uno de sus puntos y las presiones internas de las tuberías.

Mediante el diseño se pretende regular, significativamente, la eficiencia hidráulica de la red de distribución de agua potable recuperando volúmenes importantes de agua y reducir considerablemente las fugas (Cabrera Bejár & Tzatchkov, 2012).

Para la sectorización de la red se debe considerar los siguientes aspectos:

- Definir correctamente la distribución de agua potable.
- Definir los puntos de alimentación y posibles interconexiones.
- Mecanismos de control de presiones.
- Calibración de modelos simulados.
- Futuras ampliaciones para otras redes.
- Se debe considerar de 1-5 sectores por cada 100 hectáreas.

Posterior a la entrega de la topografía por parte del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Pucará se ha realizado la respectiva sectorización de la comunidad para el sistema de agua potable, como se muestra en la **Ilustración 2.8**, con un diagrama representativo de las áreas de aporte las cuales han sido determinadas y se muestra en la **Tabla 2.32**.

Tabla 2.32. Área de aporte de la comunidad.

AREAS DE APORTE	
SECTOR	ÁREA (m²)
1	78040.4
2	88819.45

Fuente: los autores

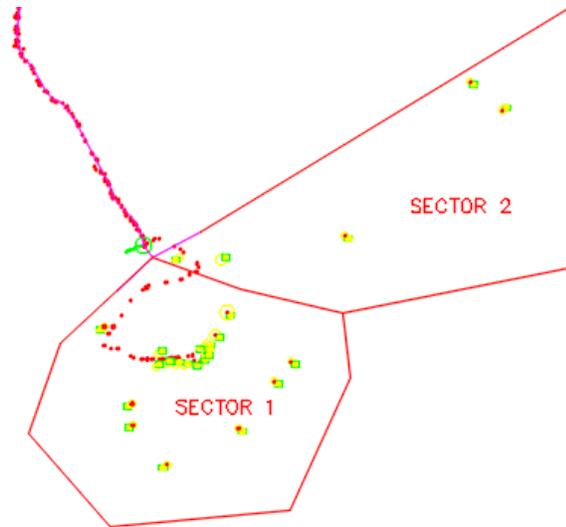


Ilustración 2.8. Áreas de aporte de la comunidad.

Fuente: los Autores

2.19.9. Red de distribución

La red de distribución consta de tres componentes: bombas, almacenaje y la red de tuberías, que su principal función es abastecer a todos los usuarios que necesiten de este recurso.

Para la distribución se debe tomar en cuenta que la distribución es ramificada o un sistema de red mallada, en nuestro caso la red es ramificada ya que a los usuarios que se tienen que abastecer se encuentran dispersos con distancias considerables.

La red ramificada consta de una red principal y varias ramificaciones que se desprenden de la red principal, el uso de esta red se da, principalmente, cuando la topografía es irregular y dificulta el tendido de la tubería.

Para calcular el caudal medio necesario se usa siguiente fórmula:

$$Q_{medio} = \frac{\text{población} \cdot \text{dotación}}{86400} = \frac{lt}{seg} \quad (38)$$

2.19.10. Análisis de alternativas de materiales y accesorios a utilizar

Para los proyectos de agua potable los accesorios deben cumplir con las especificaciones técnicas establecidas para que no alteren la calidad del agua. En este medio se deben considerar los siguientes criterios y condiciones:

- La selección de los materiales depende de factores como clima, terreno, topografía y población.
- Se debe tomar en cuenta la corrosión que pueden dañar la calidad del agua.
- Al aplicar las tuberías deben ser apropiadas según el diseño.
- Las propiedades de la tubería como la resistencia y flexibilidad se deben tomar en cuenta ya que estarán sometidas a distintas presiones.

Mediante la siguiente tabla se puede considerar las ventajas y desventajas de los materiales que se usan para desarrollar el proyecto de agua potable.

La **Tabla 2.33** indica el tipo de tubería a utilizar con sus ventajas y desventajas que conlleva el uso de cada uno de estas.

Tabla 2.33. Tipo de tuberías.

Tipo de tubería	Ventajas	Desventajas
Hierro dúctil	Tensión de fluencia igual a 42000 PSI. Módulo de elasticidad $E=166*10E6$ PSI. Elongación hasta un 10%. Se tiene variedad de diámetros y accesorios. Se tiene variedad de espesores. Tiene buena resistencia a golpe de ariete. Tiene gran resistencia a cargas externas.	El costo es alto. No se puede soldar fácilmente. Pueden requerir protección catódica. Se requiere de envolturas en suelos corrosivos.
Acero	Tensión de fluencia entre 30000 y 60000 PSI.	Tiene poca resistencia a la corrosión.

	<p>Módulo de elasticidad $E=207 \cdot 10^6$ PSI. Elongación entre 17% y 35%. Presión de trabajo hasta 2500 PSI. Se tiene variedad de espesores. Tiene excelente resistencia a golpe de ariete.</p>	<p>Los costos son elevados en diámetros pequeños. Requieren protección catódica o envolturas en suelos corrosivos.</p>
PVC	<p>Esfuerzos de tensión acordes al diseño. Módulo de elasticidad $E=4 \cdot 10^5$ PSI. Bajo peso, durable, rugosidades bajas. No existen problemas de corrosión. Pueden acoplarse accesorios de HF. Diámetros en el mercado nacional hasta 600mm. Costo relativamente bajo.</p>	<p>Presiones máximas de 350 PSI. Pueden existir sobrepresiones. Tienen una limitada resistencia a cargas cíclicas. Problemas con exposición a la atmósfera. Son de fácil acceso para conexiones clandestinas.</p>

Fuente: (ETAPA-EP, Memoria de cálculo Plan de Saneamiento para Cuenca, 2012).

CAPÍTULO III DISEÑO DEFINITIVO

3.1. Diseño de la captación

La captación de agua es la estructura que se encarga de recolectar el agua proporcionada por la fuente en la que se realizó el aforo; esta agua es requerida para dotar a la comunidad.

Ya que “Las Peñas de Mollepongo” es una comunidad con una población reducida, se ha diseñado un sistema de captación que consta de una caja de almacenamiento con un tubo de PVC en su interior; este tubo posee perforaciones que servirán para poder captar el agua de la fuente generadora.

Los cálculos y resultados de la estructura de captación se podrán observar con detalle en el **Anexo 6.3**.

El agua que se recibe de la fuente por esta estructura de captación será trasladada a través del sistema de conducción hacia el sistema de tratamiento de agua para mejorar su calidad y, de esta manera, poder distribuir a la comunidad para su uso.

3.2. Diseño de la conducción de agua cruda

Para el diseño de la conducción de agua cruda se utilizó un software de diseño llamado EPANET, este software fue de utilidad para llegar a los diseños definitivos del sistema de agua potable, considerando cada una de las especificaciones mencionadas anteriormente.

Respondiendo a la topografía que presenta la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo” fue necesario incluir en el diseño de la conducción válvulas reductoras de presión, ya que las presiones que se presentaban en algunos nodos eran mayores a 50

m.c.a., es por ello que se requirió la ayuda de estas válvulas para poder controlar estas presiones y, de esta manera, cumplir con las especificaciones establecidas por la norma.

3.3. Planta de tratamiento

Mediante la interpretación de resultados que se dieron en el informe de laboratorio de sanitaria, sabiendo que en este análisis la calidad del agua cumple con los requerimientos de la norma ambiental, se decidió realizar el diseño de filtro lento de arena y una caseta de cloración con la finalidad de mejorar la calidad del agua y distribuir a la comunidad para su uso.

El detalle de cálculo de la planta de tratamiento con cada uno de los componentes se podrá observar en el **Anexo 6.4**.

3.3.1. Filtro lento de arena

Debido a que la calidad del agua de la fuente de abastecimiento no es dañina, únicamente se diseñó el filtro lento de arena con la finalidad de mejorar más la calidad del agua, lo que garantizará su distribución en la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo” y, por ende, elevará la calidad de vida al implementarse un tratamiento de agua.

Este filtro lento de arena está constituido por un tanque conformado por un lecho de arena que se coloca sobre una capa de grava que forma el medio de soporte y de transición del agua y estará, finalmente, constituido por un sistema de drenaje poroso en la base.

Los cálculos respectivos al filtro lento de arena constan en el **Anexo 6.4**, en el que se detalla cada una de las dimensiones que se han diseñado.

3.4. Cloración

Según los resultados que se muestran en el ensayo de laboratorio en el **Anexo 5** y de acuerdo a los parámetros de contaminación que se obtiene en este análisis, se determina que, por seguridad, se debe contar con un proceso de desinfección con capacidad de eliminar todos los posibles coliformes presentes en el agua.

El proceso de desinfección se lo efectuará en base a dosificación continua de hipoclorito de calcio, sustancia de fácil producción y de bajo costo. Para controlar los coliformes totales y especialmente los coliformes fecales se ha previsto la construcción de una caseta de cloración en la que se prevé implementar dos unidades: tanque de contacto y equipo productor de cloro.

El tanque de contacto es diseñado para dar una adecuada mezcla entre el hipoclorito de calcio con el agua, y garantizar un tiempo mínimo de contacto, esto es cinco minutos de acuerdo con los valores de las normativas utilizadas.

Para verificar los diseños de dosificación y dimensionamiento de la caseta de cloración se puede referir al **Anexo 6.4**

En la obtención del hipoclorito de calcio se dispondrá a la planta dentro de la caseta de cloración el equipo Clorid L10 Bacheo 24 para la producción del cloro en base a la sal granular que es más factible conseguir. El principio fundamental y cómo funciona este equipo se lo menciona en el Anexo 6.4.

3.5. Tanque de reserva

El tanque de reserva que se contará para la distribución de agua a la comunidad será de 10 metros cúbicos según lo establece la normativa de diseño; este tanque de reserva fue diseñado para un 50% del caudal máximo horario, cuyos resultados del dimensionamiento se lo puede observar en el Anexo 6.5.

3.6. Red de distribución

En el dimensionamiento de la tubería de la red de distribución se utilizó el software EPANET. Esta herramienta informática sirvió para determinar los diámetros de las tuberías que conforman la red de distribución, así como también realizar el control de las presiones que se presentan en cada uno de los nudos, las pérdidas que se dan en la longitud de la tubería y las velocidades que se generan en las diferentes secciones; de esta manera se verifica cada uno de estos elementos y se logra optimizar las secciones y alcanzar un diseño óptimo, cuyas secciones utilizadas en este proyecto se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 3.34. Diámetro de tuberías utilizadas en la red diseñada.

Diámetro interno (mm)	Diámetro comercial (mm)	Diámetro comercial (pulgadas)	Observaciones.
17	20	1/2	Red de distribución
22	25	1	Red de distribución
60	63	2	Conducción

Fuente: los autores.

Adicionalmente, se tomaron consideraciones que establecen las normativas como la de una presión máxima de 50 m.c.a. y una presión mínima de 20 m.c.a., con la finalidad de garantizar que el agua llegue a cada uno de los puntos considerados en el diseño.

Es preciso señalar que, en algunos puntos de la red de distribución, la presión superaba los límites establecidos por la normativa por lo que se colocaron válvulas reductoras de presión.

Los detalles de cálculos y resultados que se obtuvieron en el modelado respectivo de la red de distribución se los podrá analizar en el **Anexo 8**.

CAPITULO IV

ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1. Análisis de precios unitarios

Para la determinación del presupuesto de la obra es necesario elaborar el análisis de precios unitarios de todos los rubros que involucran a un proyecto, siendo estos el resultado de la suma de todos los costos de los componentes de cada rubro: precio de los materiales, mano de obra, maquinaria utilizada con la finalidad de llegar a obtener los costos directo.

Seguidamente, se calcula el costo indirecto bajo el cual se tienen los valores provenientes del financiamiento, administración, imprevistos, entre otros; los costos indirectos generalmente resulta ser un porcentaje determinado para cada obra. Se ha visto conveniente utilizar el valor del 23 % por factores que influyen como la distancia a la obra, la accesibilidad, acarreo de los materiales, entre otras; Que intervienen para la determinación de los costos indirectos.

En la tabla **Tabla 4.35** se observa el análisis de precios unitarios del rubro encofrado recto, para el cálculo de este APU se considera: equipo, mano de obra, materiales y transporte. Para el cálculo de los costos de equipos se debe considerar aspectos como: cantidad, tarifa, costo/hora, y rendimiento; en la que la sumatoria de estos factores nos da como resultado un valor subtotal de equipo, de la misma manera se lo debe realizar para calcular los costos de: mano de obra, materiales y transporte, luego del procedimiento descrito anteriormente se realiza la sumatoria de los subtotales para obtener un valor que representa el costo total directo.

Para cada APU se debe considerar el costo indirecto, este costo indirecto representa un porcentaje del costo directo como se explicó al inicio de este apartado cuyo valor del costo indirecto del proyecto será del 23%, una vez calculado el costo

directo e indirecto se realiza la sumatorio de estos dos costos y se obtiene como resultado el costo unitario del rubro.

Tabla 4.35. Análisis de precio unitario del rubro encofrado recto

NOMBRE DEL OFERENTE:					
PROYECTO: Presupuesto referencial para Sistema de Agua Potable					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				Hoja 1 de 89	
RUBRO: Encofrado recto (con retrado de cofres) con tabla de eucalipto				UNIDAD: m ²	
DETALLE:					
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramientas varias	3.00000	0.40	1.20	0.20000	0.24
SUBTOTAL M					0.24
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Albañil	1.00000	3.30	3.30	0.30000	0.99
Peón	2.00000	3.41	6.82	0.30000	2.05
Técnico obras civiles	1.00000	3.64	3.64	0.06000	0.22
SUBTOTAL N					3.26
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Pingos de eucalipto	m	3.50000	0.80	2.80	
Tiras de eucalipto 4 x 5 x 300 cm	u	0.50000	1.08	0.54	
Clavos	kg	0.15000	1.91	0.29	
Tabla de encofrado 28 x 3 cm x 300 cm	u	0.90000	2.70	2.43	
SUBTOTAL O					6.06
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					0.00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					9.56
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 23.00 %					2.20
OTROS INDIRECTOS: 0.00 %					0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					11.76
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.					VALOR OFERTADO
					11.76

Jueves, 29 de junio de 2017

Fuente: los autores.

Tabla 4.36. Análisis de precio unitario del rubro hormigón simple $f'c=180\text{kg/cm}^2$

PROYECTO: Presupuesto referencial para Sistema de Agua Potable					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					Hoja 2 de 89
RUBRO: Hormigón Simple $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$			UNIDAD: m ³		
DETALLE:					
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Concretera un saco	1.00000	3.15	3.15	0.75000	2.36
Herramientas varias	5.00000	0.40	2.00	0.75000	1.50
SUBTOTAL M					3.86
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón	5.00000	3.41	17.05	0.75000	12.79
Técnico obras civiles	1.00000	3.64	3.64	0.37500	1.37
Albañil	1.00000	3.30	3.30	0.37500	1.24
SUBTOTAL N					15.40
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Cemento Portland Tipo I puesto en obra	saco	6.90000	7.11	49.06	
Arena puesta en obra	m ³	0.60000	20.00	12.00	
Grava puesta en obra	m ³	1.00000	21.00	21.00	
Agua	lt	180.00000	0.01	1.80	
SUBTOTAL O					83.86
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					0.00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					103.12
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 23.00 %					23.72
OTROS INDIRECTOS: 0.00 %					0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					126.84
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.					VALOR OFERTADO
					126.84

Jueves, 29 de junio de 2017

Fuente: los autores.

Cada uno de los APU se debe realizar con el procedimiento descrito anteriormente en la **Tabla 4.36** se muestra el ejemplo del análisis de precios unitarios del rubro hormigón simple $f'c=180 \text{ kg/cm}^2$, para la verificación de cada uno de los precios unitarios que intervienen en el proyecto se lo puede revisar en el **Anexo 9**.

4.2. Presupuesto

Para el diseño definitivo del sistema de agua potable de la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo” se procede con el cálculo de cantidades de obra para, posteriormente, calcular el presupuesto respectivo de la obra; para ello se hizo uso de la herramienta informática INTERPRO en la cual los elementos del sistema a cuantificar los costos son: captación, conducción, planta de tratamiento y red de distribución.

La base de datos con las que se realizó el análisis de los precios se obtuvo de una base de datos proporcionada por Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) del cantón Pucará y de la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA-EP).

Tabla 4.37. Resumen del presupuesto por grupos.

PRESUPUESTO POR GRUPOS		
DESCRIPCIÓN		TOTAL
Captación		\$ 2 351.79
Desarenador		\$ 882.72
Accesorios		\$ 659.70
Planta de tratamineto	Filtros	\$ 4 113.84
	Drenajes	\$ 2 711.85
	Accesorios	\$ 299.24
	Cajón repartidor de caudales	\$ 563.43
	Caseta de cloración	\$ 2 454.51
Tanque de reserva		\$ 1 157.42
Red de distribución	Red principal	\$ 64 933.17
	Domiciliarias	\$ 3 425.54
SUBTOTAL		\$ 83 553.21
IVA: 12%		\$ 10 026.39
TOTAL		\$ 93 579.60

Fuente: los autores.

Luego se procedió a calcular la fórmula polinómica que se muestra en la **Tabla 4.38**, este análisis corresponde a un ajuste de precio que se pueda dar por variaciones en el precio del proyecto, para ello, se analizan los factores tales como: mano de obra (A), cemento portland tipo 1 (B), Equipo y maquinaria de construcción (E) y materiales

pétreos (P), cada uno de estos factores representan un coeficiente en la fórmula polinómica cuyos valores se presentan a continuación.

Tabla 4.38. Fórmula polinómica

PROYECTO: Presupuesto referencial para Sistema de Agua Potable

Descripción de la Fórmula Polinómica

Término	Descripción	Costo Directo	Coefficiente
B	Mano de Obra	44,052.86	0.648
D	Cemento Portland - Tipo I - Sacos	15,917.87	0.234
E	Equipo y maquinaria de Construc. vial	479.64	0.007
F		383.95	0.006
P	Materiales pétreos (Azuay)	1,562.21	0.023
X		5,537.81	0.082
Y		1.65	0.000
Totales:		67,935.99	1.000

$$PR = P_0 (0.648 B1/B_0 + 0.234 D1/D_0 + 0.007 E1/E_0 + 0.006 F1/F_0 + 0.023 P1/P_0 + 0.082 X1/X_0 + 0.000 Y1/Y_0)$$

Término	Descripción	Salario Ley	Salario Efectivo	Horas Hombre	Costo Directo	Coefficiente
B - 402	Estructura Ocupacional E2	3.410	3.410	10,654.165	36,330.68	0.830
B - 403	Estructura Ocupacional D2	3.450	3.416	981.016	3,351.45	0.076
B - 405	Estructura Ocupacional C2	3.640	3.640	1,137.452	4,140.30	0.089
B - 421	Topografía	3.820	3.820	60.323	230.43	0.005
Totales:				12,832.955	44,052.86	1.000

$$0.076 \text{ SHR Estructura Ocupacional D2} + 0.089 \text{ SHR Estructura Ocupacional C2} + 0.83 \text{ SHR Estructura Ocupacional E2} + 0.005 \text{ SHR Topografía}$$

Fuente: los autores.

4.3. Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas que se adjuntan en este proyecto están de acuerdo a cada uno de los rubros que se especifican en el presupuesto y su cumplimiento garantizará el buen funcionamiento del sistema de agua potable diseñado.

A continuación, se mostrará las especificaciones técnicas para dos rubros tales como: suministro de llave de chorro $\varphi=1/2''$, en las especificaciones técnicas se debe redactar la forma de ejecutar el proyecto, así como también características que deben cumplir los materiales, además, consta de la medición y forma de pago del rubro que se ejecuta en el proyecto.

- Análisis 500068: Sum. Llave de chorro $d= 1/2"$ Unidad: u

En donde los planos lo especifiquen, se colocará una llave de chorro de agua, de $1/2"$ de diámetro, cuyo material será de bronce.

Medición y Forma de Pago

Se pagará por unidad de llave de chorro correctamente colocada. El precio y pago constituirán la compensación total por concepto de suministro e instalación de llave de chorro de $1/2"$, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales y operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta sección.

- Análisis 500069: Sum. Llave de paso $d= 1/2"$ Unidad: u

En donde los planos lo especifiquen, se colocará una llave de $1/2"$ de diámetro que permita cortar el paso de agua a voluntad. La llave será de bronce.

Medición y Forma de Pago

Se pagará por unidad de llave de paso correctamente colocada. El precio y pago constituirán la compensación total por concepto de suministro e instalación de llave de paso de $1/2"$, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales y operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta sección.

Ilustración 4.0.1. Especificaciones técnicas

Fuente: los autores

Las especificaciones técnicas que se muestran en el Anexo 10 son proporcionadas por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Pucará a través del departamento de agua potable.

4.4. Cronograma

Para el cronograma del presente proyecto se desarrolló para que se cumpla en el lapso de 3 meses para cuales comprendes actividades tales como: captación, conducción, planta de tratamiento y red de distribución. Para lo cual se presenta en la siguiente tabla el resumen del cronograma.

Tabla 4.39. Fórmula polinómica

CRONOGRAMA POR GRUPO		
DESCRIPCIÓN		MES
Captación		Mes 1
Conducción		Mes 1
Planta de tratamineto		Mes 2
Tanque de reserva		Mes 2 y 3
Red de distribución	Red principal	Mes 3
	Domiciliarias	Mes 3

Tabla 40. Cronograma por grupo

Fuente: los autores.

Para mayor detalle del cronograma se puede observar en el **Anexo 10**.

4.5. Manual de operación y mantenimiento

Para empezar, es necesario indicar algunos conceptos de lo que es la operación y mantenimiento:

Operación. Es el conjunto de acciones, pasos y métodos externos que se ejecutan en los equipos; en este caso, en la instalación para conseguir un correcto funcionamiento del sistema.

Cuando en el sistema de abastecimiento de agua potable para una localidad tenemos varios componentes su operación se vuelve más complicada; para tal caso, el personal técnico debe elaborar normas y manuales de operación en forma clara, que esté al alcance del personal que trabajará como operadores para conseguir una labor de calidad que garantice el correcto funcionamiento del sistema.

Los manuales de operación deben hacerse para cada parte o equipo de la planta. También es necesario señalarlas obligaciones adicionales que debe cumplir el operador tales como: mantener la limpieza de la planta, mantenimiento de los equipos y proveer la existencia de materiales necesarios para la operación de la planta con el fin de no detener el normal funcionamiento por falta de uno de ellos.

Mantenimiento. Es el conjunto de acciones internas que se ejecutan dentro de las instalaciones, especialmente, en los equipos con el fin de prevenir daños o para la reparación de los mismos en el caso de que ya se hayan producido con el fin de conseguir un funcionamiento óptimo del sistema.

De lo descrito, anteriormente, podemos decir que existen dos clases de mantenimiento: preventivo y correctivo.

- a) **Mantenimiento preventivo.** Debe programarse de una manera adecuada en todos y cada uno de los elementos del sistema, en forma de calendario. Esto consiste en realizar en cada uno de los equipos un mantenimiento, sin esperar que se produzcan daños con el fin de evitar que estos se presenten.

El operativo a implementarse en la planta es sencillo de realizarlo y consiste en la medición de caudales o gastos de agua, así como el control de cantidad de hipoclorito que se esté inyectando. Además, es necesario mantener aseada y en orden tanto el interior como el exterior de la planta de tratamiento.

- b) **Mantenimiento correctivo.** Consiste en la reparación oportuna e inmediata de los daños que ya se han producido en los equipos y en la instalación e general. Dichos daños pueden ser de naturaleza variada y se producen en el momento menos esperado. El mantenimiento no puede programarse y la solución más práctica es la de disponer del personal especializado que contengan los equipos de reparación necesarios.

Resumiendo lo mencionado, anteriormente, se puede decir que la práctica de este tipo de mantenimiento significa economía, tiempo aprovechado en transporte, mejorar el tiempo-hombre para la ejecución del trabajo, así como el conocer con certeza y anterioridad de la existencia o no de las necesidades o requerimientos a fin de solventar con rapidez cualquier tipo de emergencias o fallas.

Como conclusión, se puede mencionar que nunca se debe adoptar la práctica del mantenimiento correctivo, pues esto conduce a la multiplicidad de esfuerzos y gastos cuando la política debe ser reducirlos a un mínimo.

El manual de operación y mantenimiento del proyecto de la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo” se podrá analizar a detalle en el **Anexo 11**.

CONCLUSIONES

Debido a la calidad de abastecimiento de agua que posee la comunidad de “Las Peñas de Mollepongo” en la actualidad, cuyas características analizadas son de mal estado, así como también la carencia de una planta de tratamiento, se realizó el diseño de un nuevo sistema de abastecimiento de agua potable cuyo periodo de vida considerado fue de 25 años. De la misma manera se realizó el diseño de la captación, la conducción y la red de distribución, trabajo que se efectuado conjuntamente con el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) del cantón Pucará en dirección del ingeniero Marco Oyervide, jefe del departamento de agua potable.

Cabe resaltar que con la implementación del sistema de agua potable diseñado la comunidad tendrá una mejor calidad de vida, así como también se mejorará la salubridad de los habitantes y ayudará al crecimiento de la población de esta comunidad.

Por otro lado, de acuerdo a la topografía proporcionada por el GAD de Pucará para el diseño del sistema de agua potable se vio necesario incluir válvulas reductoras de presión en la conducción del agua, ya que las presiones con las que el agua llegaba a los puntos de distribución eran elevadas; es por ello que al implementar estos elementos se prevé un correcto funcionamiento en el sistema y también se pueden evitar daños que se generen en la red de abastecimiento.

Por último, el diseño desarrollado en este documento servirá de referencia para que el GAD de Pucará inicie la ejecución del proyecto, ya que los parámetros con los que han sido diseñados cada uno de los elementos del sistema son especificaciones regidas en las normativas mencionadas en el desarrollo del diseño y que responden a las necesidades reales del sector.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que en el sistema de agua potable a implementarse en la comunidad se realicen los mantenimientos respectivos y, de esta manera, se garantice que el sistema logre funcionar durante el periodo de vida útil para el que fue diseñado; para ello, se espera la colaboración de la comunidad para mantener en óptimas condiciones el sistema.

En la construcción del sistema de agua potable es importante que cada una de las etapas constructivas del proyecto sea ejecutado como se ha planteado en los planos, así como también en las especificaciones técnicas que contempla el documento de diseño, para el caso de requerir modificaciones en los diseños se recomienda consultar a los técnicos respectivos del GAD de Pucará para obtener su autorización.

Cuando el sistema de agua potable inicie su funcionamiento se recomienda realizar monitoreos periódicos en cuanto a la calidad del agua se refiere, ya que en el transcurso del periodo de vida útil del sistema es probable que se presenten agentes externos que puedan alterar la calidad del agua, los cuales generarán molestias e inconvenientes con los miembros de la comunidad.

BIBLIOGRAFÍA

- 601, N. C. (1992). *Sistema de abastecimiento de agua potable y eliminacion de aguas residuales*. Quito.
- Abad Calle, M., & Flores Flores, M. (2014). *Diseño del sistema de agua potable para la comunidad de Chiñahuña de la parroquia Jima ubicada en el cantón Sigsig*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Cabrera Bejar, J., & Tzatchkov, V. (2012). *Modelación de las redes de agua con suministros intermitentes*. Ciudad de México DF.
- Canter, L. (1998). *Manual de Evaluación del impacto Ambiental*. Oklahoma: Mcgraw-hill.
- Comité Nacional de Normalización. (2015). *Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 Salud Ambiental, Agua para uso y consumo humano*. Mexico D.F.
- Das, B. M. (2001). *Principios de Ingenieria de Cimentación*. California: Thomson.
- De Azevedo Netto, D. (1991). *Manual de hidráulica Azevedo Netto*. Sau paulo: Edgard Blucher Ltda.
- Dias Delgado, C., Garcia Púlido, D., & Solis Morelos, C. (2000). *Abastecimiento de agua potable para pequeñas comunidades rurales* . Toluca.
- Díaz, C., García, D., & Solís, C. (2000). *Abastecimiento de agua potable para pequeñas comunidades rurales*. Toluca.
- Enriquez Contreras, I., & Martinez Lozano, E. (2012). *Sistema de agua potable para poblaciones rurales en la región litoral del ecuador*. Guayaquil.
- Enriquez Contreras, I., & Martínez Lozano, E. (2012). *Sistema de agua potable para poblaciones rurales en la región litoral del Ecuador*. Guayaquil.
- ETAPA-EP. (2012). *Memoria de cálculo Plan de Saneamiento para Cuenca*. Cuenca.
- ETAPA-EP. (2012). *Memoria de cálculo Plan de Saneamiento para Cuenca*. Cuenca.
- GAD Pucará - Universidad del Azuay. (2017). *Convenio Específico de Cooperación Institucional Celebrado entre el Gobierno Autonomo Descentralizado Municipal*

de Pucará y la universidad del Azuay para la realización de Proyectos de Factibilidad para la construcción de sistemas de Agua Potable. Cuenca.

INTERAGUA. (1998). *Manual de Evaluación del impacto Ambiental.*

López Villamar, S., Matrínez Saldaña, T., & Palerm Viquería, J. (2013). *Las comunidades en la Administración de Sistemas de Agua Potable.* Mexico D.F.

López, S., Matrínez, T., & Palerm, J. (2013). *Las comunidades en la Administración de Sistemas de Agua Potable.* Mexico D.F.

Norma CO 10.7 - 602. (1992). *Sistema de abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas residuales.* Quito.

Normalización, I. E. (2016). *Norma técnica ecuatoriana obligatoria INEN 1 108:2016.* Quito.

Secretaría del Agua. (2007). *Código Ecuatoriano de la Construcción Parte IX.* Quito.

Secretaría del Agua. (2007). *CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN PARTE IX.* Quito.

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2014). *Agua Potable y Alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador.* Quito.

SENPLADES. (2014). *Agua Potable y Alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador.* Quito: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.

Referencias bibliográficas:

Hidrología y conservación imagen. Obtenido de:

http://ghidrologia.blogspot.com/2009/04/tuneles-subterraneos-de-captacion-de_25.html

ANEXOS.

Anexo 1: Formato de Encuestas Socio – Económica.

Anexo 2: Encuestas Realizadas.

Anexo 3: Tabulación de Encuestas Socio – Económica.

Anexo 4: Estudio de Suelo.

Anexo 5: Estudio Físico-Químico-Bacteriológico.

Anexo 6: Diseño del Sistema de Agua Potable.

Anexo 6.1: Aforo de la Fuente.

Anexo 6.2: Datos de Diseño.

Anexo 6.3: Diseño de la Captación.

Anexo 6.4: Diseño de la Planta de Tratamiento.

Anexo 6.5: Diseño del Tanque de Reserva.

Anexo 7: Diseño de la Conducción.

Anexo 8: Diseño de la Distribución de Agua Potable.

Anexo 9: Presupuesto del Sistema de Agua Potable.

Anexo 10: Especificaciones Técnicas.

Anexo 11: Manual de Operación y Mantenimiento.

Anexo 12: Anexo Fotográfico.

Anexo 13: Documentos de Respaldo.