



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL

TEMA: CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA
LA PARROQUIA EL PLACER DEL TOACHI, DEL CANTÓN SANTO
DOMINGO.

AUTOR: ASTUDILLO CUEVA, VICTOR DANIEL

DIRECTOR: ING. MASABANDA CAISAGUANO, MARCO VINICIO Ph. D.

SANGOLQUÍ

2018



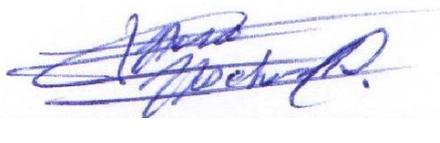
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA EL PLACER DEL TOACHI, DEL CANTÓN SANTO DOMINGO”** fue realizado por el señor **ASTUDILLO CUEVA, VICTOR DANIEL**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 24 de agosto del 2018



ING. MASABANDA CAISAGUANO, MARCO VINICIO Ph. D.

C.I. 1802179190



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN

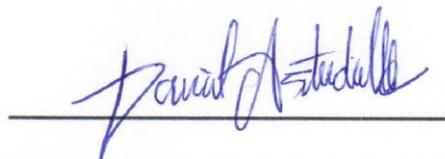
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **ASTUDILLO CUEVA, VICTOR DANIEL**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA EL PLACER DEL TOACHI, DEL CANTÓN SANTO DOMINGO”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 24 de agosto del 2018



VICTOR DANIEL ASTUDILLO CUEVA

C.I. 1720567179



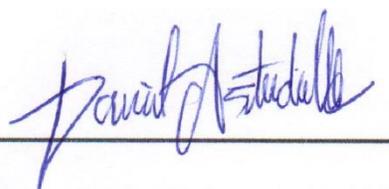
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **ASTUDILLO CUEVA, VICTOR DANIEL**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA EL PLACER DEL TOACHI, DEL CANTÓN SANTO DOMINGO”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 24 de agosto del 2018



VICTOR DANIEL ASTUDILLO CUEVA

C.I. 1720567179

DEDICATORIAS

A mis padres, Danny y Lida,

A mi hermosa familia, que lo es todo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme vivir, disfrutar de cada día y nunca abandonarme,

A mi Mamá y Papá por su apoyo incondicional,

A mis profesores por brindarme sus conocimientos y experiencias,

A mi hermosa familia por siempre confiar en mí,

Y a todos los que contribuyeron con mi formación personal y profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIAS	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I	1
1.1 Introducción	1
1.2 Importancia y Justificación	2
1.3 Ubicación	3
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos Específicos	6
CAPÍTULO II	7
2.1 Metodología	7

	viii
2.2 Calidad del agua	8
2.3 Sistema de agua potable	10
2.4 Fuentes de abastecimiento	11
2.5 Captación.....	12
2.6 Conducción.....	13
2.7 Planta de tratamiento	15
1.4.3 Tipos de Tratamiento	16
1.4.4 Parámetros de Calidad	16
2.8 Potabilización.....	18
2.9 Almacenamiento	19
2.10 Distribución	20
CAPÍTULO III	22
3.1 Encuesta.....	22
3.1.1 <i>Cálculo de la muestra</i>	22
3.1.2 <i>Pregunta N° 1</i>	23
3.1.3 <i>Pregunta N° 2</i>	24
3.1.4 <i>Pregunta N° 3</i>	25
3.1.5 <i>Pregunta N° 4</i>	26
3.2 Topografía	27
3.3 Fuente de Abastecimiento	28

3.4 Captación.....	29
3.4.1 Captación Actual.....	29
3.4.2 Captación Calculada.....	30
3.5 Método para la Determinación del Aforo.	32
3.5.1 Aforo Volumétrico	32
3.5.2 Caudal Disponible.....	34
3.6 Población de Diseño	34
3.6.1 Población Futura.....	35
3.6.1.1 Método Aritmético	35
3.6.1.2 Método Geométrico.....	35
3.6.1.3 Método Mixto	35
3.7 Dotación	38
3.7.1 Dotación Básica.....	38
3.7.2 Dotación Actual.....	38
3.7.3 Dotación Media Futura.....	40
3.8 Demanda	41
3.8.1 Caudal Medio (Qm).....	41
3.8.2 Caudal Máximo Diario (QMD)	42
3.8.3 Caudal Máximo Horario (QMH).....	42
3.8.4 Fugas.....	43

3.9	Conducción.....	43 ^x
3.9.1	Caudal de Diseño	43
3.9.2	Caudal de Bombeo	44
3.10	Tratamiento.....	45
3.10.1	Alternativas del Tratamiento.....	45
3.10.2	Cálculo del Hipoclorito de Calcio.....	45
3.10.3	Localización del Tratamiento.....	46
3.11	Reserva.....	46
3.11.1	Reserva actual	47
3.11.2	Reserva calculada	48
3.12	Distribución	48
3.13	Evaluación de la Calidad del Agua	49
3.13.1	Análisis Físico – Químicos	50
3.13.1.1	Temperatura y Potencial de Hidrógeno “pH”	50
3.13.1.2	Color	51
3.13.1.3	Conductividad	51
3.13.1.4	Nitratos y Nitritos.....	51
3.13.2	Análisis Microbiológicos	51
3.13.2.1	Coliformes Fecales y Coliformes Totales	51
CAPÍTULO IV.....		53

	xi
4.1 Introducción	53
4.2 Alternativa optima	53
4.3 Oferta.....	54
4.4 Demanda	54
4.5 Implementación y Trazado de Tubería.....	54
4.6 Demanda Base	55
4.7 Bomba	58
4.8 Tubería	60
4.9 Corrida del Sistema Propuesto en Periodo Estático.....	61
3.13.3 Presiones Medidas en el Software	61
3.13.4 Velocidades Medidas en el Software	63
4.10 Corrida del Sistema Propuesto en Periodo Dinámico	65
3.13.5 Presiones Medidas en el Software	66
3.13.6 Velocidades Medidas en el Software	67
CAPÍTULO V.....	68
CAPÍTULO VI.....	72
6.1 Conclusiones	72
6.2 Recomendaciones	73
Bibliografía	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Análisis para determinar impurezas físicas en el agua</i>	8
Tabla 2: <i>Olores ofensivos encontrados en el agua</i>	8
Tabla 3 : <i>Parámetros Químicos utilizados para la caracterización de Agua Potable</i>	9
Tabla 4: <i>Caudales de Diseño para un Sistema de Agua Potable</i>	12
Tabla 5: <i>Procesos unitarios posibles a llevar a cabo en función de los contaminantes presentes.</i>	16
Tabla 6: <i>Principales parámetros de clasificación de tipos de agua.</i>	17
Tabla 7: <i>Procesos unitarios referidos a cada grado de tratamiento</i>	18
Tabla 8: <i>Pregunta Nro. 1</i>	23
Tabla 9: <i>Pregunta Nro. 2</i>	24
Tabla 10: <i>Pregunta Nro. 3</i>	25
Tabla 11: <i>Pregunta Nro. 4</i>	26
Tabla 12: <i>Características del Geotextil G-10</i>	31
Tabla 13: <i>Tiempos de aforo</i>	33
Tabla 14: <i>Métodos de proyección</i>	36
Tabla 15: <i>Proyección de los Parámetros de Diseño</i>	37
Tabla 16: <i>Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio.</i>	38
Tabla 17: <i>Porcentaje de fugas a considerarse en el diseño</i>	43
Tabla 18: <i>Resultados del Ensayo de Calidad de Agua.</i>	52
Tabla 19: <i>Cálculo de los Coeficientes Multiplicadores</i>	57
Tabla 20: <i>Características de la Bomba</i>	59
Tabla 21: <i>Presupuesto</i>	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la Parroquia “El Placer del Toachi”	4
Figura 2: Gráfica 1.....	23
Figura 3: Gráfica 2.....	24
Figura 4: Gráfica 3.....	25
Figura 5: Gráfica 4.....	26
Figura 6: Faja Topográfica en Línea de Conducción Principal.....	27
Figura 7: Levantamiento Topográfico	28
Figura 8: Río Achotillo	28
Figura 9: Galería sobre el Río Achotillo	29
Figura 10: Detalle de la Galería.....	32
Figura 11: Aforo Volumétrico.....	33
Figura 12: Tanque de Reserva Actual	47
Figura 13: Muestra 1	50
Figura 14: Muestra 2	50
Figura 15: Trazado de Tubería.....	55
Figura 16: Polígonos de Thiessen en el Sistema de Agua Potable.....	56
Figura 17: Patrón de Consumo	56
Figura 18: Demanda Base.....	58
Figura 19: Bomba Existente	59
Figura 20: Diámetro de Tubería "El Placer del Toachi"	61
Figura 21: Presión en la Línea de Conducción	62

Figura 22: Presiones en la Red de Distribución	63
Figura 23: Velocidad en la Línea de Conducción	64
Figura 24: Velocidades en la Red de Distribución	65
Figura 25: Presiones en Periodo Extendido	66
Figura 26: Velocidades en Periodo Extendido	67

RESUMEN

A través del análisis de la oferta hídrica, de comprobar la demanda de agua consumida por los habitantes de la parroquia “El Placer del Toachi” y de conocer su insatisfacción por la ingesta del líquido vital, el presente proyecto propone el diseño del sistema de agua potable para este sector, empezando por saber cuáles son los elementos actuales de la tubería empírica que sirvan para proveer de manera adecuada y sana el recurso, continuando con el levantamiento topográfico y catastral de las manzanas a beneficiarse, además de analizar la calidad de agua de la fuente hídrica del sistema. Con ello y a partir de la ayuda del software WaterCAD se generó el análisis hidráulico y el diseño de la red propuesta, para un periodo de vida útil de 20 años, basada en función del diagnóstico y la evaluación realizada al lugar de estudio, justificando y obteniendo los parámetros de diseño que establece la Secretaría Nacional del Agua por medio de la norma. El estudio finalmente ayudará a demostrar que lo realizado es una solución a la problemática que se plantea, incentivando el turismo, optimizando el nivel de vida de los usuarios y aportando con los objetivos nacionales del Plan Toda una Vida.

PALABRAS CLAVE:

- **PARROQUIA “EL PLACER DEL TOACHI”**
- **RED DE AGUA POTABLE**
- **SISTEMA DE AGUA POTABLE**

ABSTRACT

Through the analysis of the water supply, to check the demand for water consumed by the inhabitants of the parish "El Placer del Toachi" and to know their dissatisfaction with the intake of the vital liquid, this project proposes the design of the drinking water system for this sector, starting with knowing what are the current elements of the empirical pipeline that serve to adequately and healthy supply the resource, continuing with the topographic and cadastral survey of the apples to benefit, in addition to analyzing the water quality of the water source of the system. With this, and based on the help of the WaterCAD software, the hydraulic analysis and design of the proposed network was generated, for a useful life period of 20 years, based on the diagnosis and evaluation performed at the study site, justifying and obtaining the design parameters established by the Secretaría Nacional del Agua through the standard. The study will finally help to demonstrate that what has been done is a solution to the problem that arises, encouraging tourism, optimizing the level of life of the users and contributing to the national objectives of the Plan Toda una Vida.

KEYWORDS:

- **PARISH "EL PLACER DEL TOACHI"**
- **POTABLE WATER NETWORK**
- **DRINKING WATER SYSTEM**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

Considerando que “El agua es vida”, se puede explicar por qué los asentamientos humanos se localizaban donde la misma estaba disponible. Con el paso del tiempo y debido al crecimiento poblacional ha sido necesario realizar obras de ingeniería de gran envergadura con la finalidad de abastecer de este preciado líquido a las poblaciones que día a día lo solicitan en mayor cantidad y de mejor calidad, para sus necesidades. Pero, el abastecer de agua a los conglomerados humanos, tiene como consecuencia el retiro de la mayor parte de ella, una vez que ha sido utilizada y por ende contaminada. Para ello es necesario que el ingeniero civil, tome en consideración una serie de elementos, que le permitan mediante estudios y trabajos especializados satisfacer de manera efectiva y sustentable la necesidad que se tiene del servicio del agua, proporcionándolo en forma ininterrumpida, en cantidad y con la calidad apropiada (Jiménez, 2013).

“Punto importante a considerar es la lejanía de las fuentes de abastecimiento, motivado principalmente por la localización del agua en nuestro planeta, que generalmente ya se encuentra apartada de los centros urbanos”. (Jiménez, 2013)

Por lo tanto debido a la necesidad del ser humano por proveerse de agua en sus hogares, se han diseñado varios tipos de sistemas de distribución para la conducción y el correspondiente tratamiento a la misma. Así en el país se pueden apreciar sistemas de distribución por bombeo o por gravedad, todo responde a la topografía del terreno, desde la captación hasta el lugar o población a abastecerse del servicio.

Generalmente el sistema por bombeo predomina tanto en las regiones de la sierra, costa y el oriente; esto ya que los asentamientos humanos se encuentran en niveles sobre el mar más elevados que el de los afluentes hídricos.

La parroquia “El Placer del Toachi” se encuentra localizada en el sector rural de la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, en la región Nor-Este de la misma, hacia las afueras de la cabecera cantonal. En ella el consumo de agua potable nunca ha existido y el dispendio del líquido vital es a través de condiciones inadecuadas e insalubres, perjudicando la calidad de vida en sus habitantes.

Con los antecedentes mencionados se puede verificar que la población que se encuentra en el sector mencionado, está en la necesidad de que se realice un estudio y diseño adecuado para la realización del sistema de agua potable, con el objeto de brindar un excelente nivel de servicio y de mejorar el nivel de vida de la misma.

1.2 Importancia y Justificación

Por diversos factores tales como la contaminación o las sequías, el agua es cada vez más pobre y escasa, debido a que ellos no solamente empeoran la calidad sino que también contribuyen a afectar la cantidad del recurso hídrico. Estos problemas, junto a otros más, hacen necesario el tratamiento del agua, tanto para su uso potable como para el uso industrial.

Con el fin de ayudar a la población de la parroquia “El Placer del Toachi” nace la idea de proponer y diseñar un sistema de agua potable, debido a que en la actualidad en este sector del país se abastece de agua al consumidor de una manera inadecuada e

insalubre, es decir sin una correcta red de distribución y sin un tratamiento previo, de esta manera se estaría dando solución a los problemas de esta parroquia.

Para el presente proyecto se realizará el cálculo y diseño de un sistema de agua potable, ya que éste lugar carece de la misma en calidad más que en cantidad.

El correcto diseño de una red de agua potable ayuda a lograr una adecuada prestación del servicio de la misma, en el área de influencia de la planta de tratamiento. Actualmente la distribución del líquido vital, presenta algunas deficiencias en el control operacional, desconocimiento de caudales distribuidos e inadecuada capacidad hidráulica de distribución.

La implementación de este proyecto dará mayor desarrollo y fortaleza a la población de este sector y su impacto brindará un mejor potencial económico y social; aumentará la seguridad y calidad de vida de los habitantes de este sector. La población beneficiada es de aproximadamente 650 personas que ocupan una superficie de alrededor de 11,7 hectáreas. Con este proyecto se conseguirá que los moradores de la parroquia “El Placer del Toachi” cuenten con un sistema seguro y confiable que garantice el bienestar y las regulaciones ambientales que se exige actualmente a través de entes reguladores del Estado.

1.3 Ubicación

La Parroquia “El Placer del Toachi”, del cantón Santo Domingo se ubica hacia la región Nor-Este de la provincia Tsáchila y se localiza aproximadamente a tan solo 30 kilómetros de la cabecera cantonal. Las coordenadas geográficas del centro poblado son (ver **Figura 1**).

Norte = 9'985.083,64

Este = 707.298,82

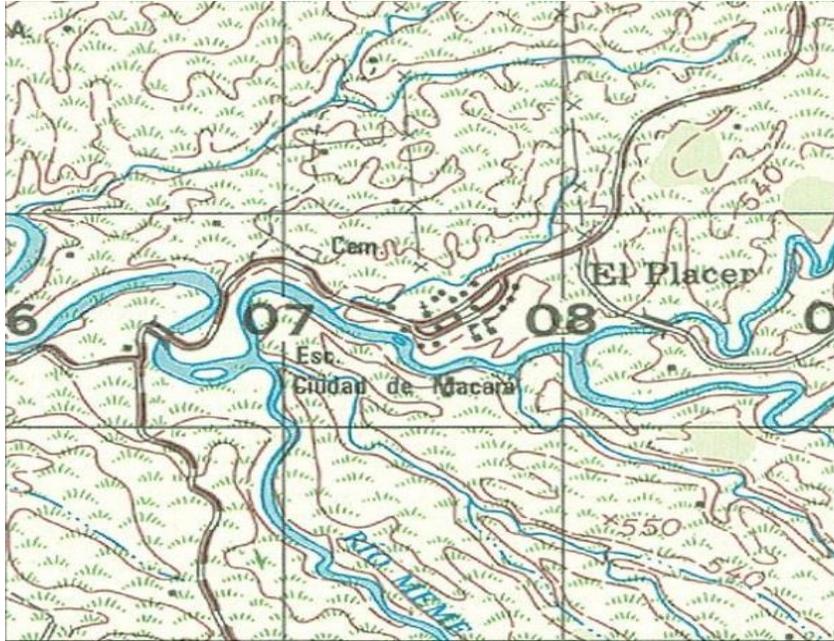


Figura 1: Ubicación de la Parroquia “El Placer del Toachi”
Fuente: instituto geográfico militar, carta NIII_B2, escala 1: 50 000

La localización del estudio es a partir de la zona de captación del agua hasta la distribución de la misma, en todas las viviendas del centro poblado de la parroquia.

Es importante destacar que las diferencias de cotas entre los lugares de interés tienen una diferencia considerable para el cálculo y diseño de la red de agua potable y por consecuencia de ello el centro poblado de “El Placer del Toachi” se ubica en una cota superior a la zona de captación, por lo tanto se opta que el sistema por bombeo es el adecuado.

El clima es húmedo sub-tropical, con una temperatura de 18 a 22 grados centígrados, pertenece al bosque húmedo premontano, con un promedio de precipitación total de 2 mil a 4 mil milímetros por año. (Torres & Rosales, 2002)

Es muy importante la crianza de ganado bovino, tanto en raza de carne como productora de leche. El auge experimentado por la actividad ganadera es consecuencia de la abundancia de pastos, clima apropiado y la experiencia tecnológica empírica acumulada a través del tiempo. En esta población se producen alrededor de 8.400 litros de leche por día, lo que genera un comercio activo con intermediarios. Aunque se trata de un sector que tiene fertilidad en sus tierras y gran capacidad de trabajo de sus pobladores, no es menos cierto que el mismo está amenazado por la falta de legalización de sus tierras, la falta de caminos, la creciente contaminación de los ríos y la delincuencia. Es una zona cubierta de pastos, plantaciones permanentes en asociación con café, cacao (dominantes) banano y cítricos. En algunos lugares se cultiva Palma Africana. Su topografía presenta cimas planas y redondeadas asociadas con pequeñas gargantas con pendientes de 5 a 40 por ciento. (Torres & Rosales, 2002)

El 87 por ciento de las viviendas del centro poblado de “El Placer del Toachi” cuentan con energía eléctrica. Esta zona pujante de producción ganadera y agrícola presenta los siguientes equipamientos comunitarios: escuela Ciudad de Macará, colegio Carlos Montúfar Larrea, dispensario médico, casa comunal, instalaciones recreativas y deportivas, parque central y cementerio. (Torres & Rosales, 2002)

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar el sistema de agua potable para la parroquia “El Placer del Toachi” del cantón Santo Domingo, a través de una red de conducción, distribución y tratamiento, para mejorar la calidad de vida de la población.

1.4.2 *Objetivos Específicos*

- Identificar la zona y el tipo de captación, incluido el caudal del mismo.
- Analizar la calidad del agua.
- Diseñar el sistema de agua potable: conducción, distribución y tratamiento.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA Y DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO

2.1 Metodología

El enfoque de investigación será experimental, de campo y analítico cuya técnica a emplearse es la observación y recolección de información in situ, además que la investigación será de tipo exploratorio ya que en el campo se realizará investigaciones del agua con datos actuales. Se describirá la operacionalidad de variables, las técnicas de recolección de información por medio de encuestas, mediciones en campo, toma de muestras de agua, etc. Así como el procesamiento de información y con ello realizar un óptimo diseño del proyecto investigativo orientado hacia un sector rural.

Este tipo de investigación otorga una idea muy precisa de la situación actual de la población en estudio, los problemas que presentan al carecer de un sistema de abastecimiento de agua potable. (Criollo, 2015)

Conjuntamente se hará uso de los códigos y parámetros de diseño amparados en normas que se exijan en nuestro país. Para el modelamiento del sistema de agua potable se utilizará el software WaterCad y hojas de cálculo electrónicas que contribuyan con la memoria técnica del presente proyecto de investigación.

El método implementado para conocer las demandas de consumo en cada uno de los nudos es el de los polígonos de Thiessen, ya que el software en mención de una forma automática hace que el área delimitada por el caudal máximo horario sea dividido para cada área de aportación, las mismas que son determinadas por el trazo de mediatrices en cada línea de distribución de la red.

2.2 Calidad del agua

El término *calidad del agua* es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria.

Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. (INEN, 1998)

Los análisis más comunes para determinar los diferentes parámetros son:

Tabla 1:
Análisis para determinar impurezas físicas en el agua

Parámetro	Abreviación	Uso
Turbiedad	NTU	Define la claridad del agua
Sólidos sedimentables	SS	Utilizado para el dimensionamiento de sedimentadores.
Color	UC Pt-Co	Determina la presencia de agentes de colores naturales o sintéticos
Olor		Determina si el olor produce efectos adversos
Temperatura	°X	Necesarios para tratamientos biológicos y concentración de gases

Fuente: (Tchobanoglous, 1985)

Por la descomposición de la materia orgánica se asocian comúnmente olores y sabores ofensivos y estos pueden ser:

Tabla 2:
Olores ofensivos encontrados en el agua

Compuesto	Fórmula típica	Olor a:
Aminas	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{NH}_2$	Pescado
Amonia	NH_3	Amoniaca

CONTINÚA →

Diaminas	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_n\text{NH}_2$	Carne podrida
Ácido Sulfúrico	H_2S	Huevos putrefactos
Sulfuros orgánicos	$(\text{CH})_3)_2\text{S}; \text{CH}_3\text{SSCH}_3$	Vegetales
Eskatoles	$\text{C}_8\text{H}_5\text{NHCH}_3$	Fecal

Fuente: (Moncrieff, 1967)

La interacción y combinación entre iones reflejan las medidas de calidad. Las principales son:

Tabla 3 :

Parámetros Químicos utilizados para la caracterización de Agua Potable

Agua Potable		
Parámetro	Definición	Uso
Calcio	Ca^{+2}	Determina la composición iónica del agua. Determina sus posibles usos.
Magnesio	Mg^{+2}	
Potasio	K^+	
Sodio	Na^+	
Bicarbonato	HCO_3^-	
Carbonato	CO_3	
Cloro	Cl^-	
Hidróxido	OH^-	
Nitrato	NO_3^-	
Sulfato	SO_4^{-2}	
pH	$\log \text{H}^+$	Mide la acidez o basicidad
Alcalinidad	$\sum(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{-2} + \text{OH}^-)$	Mide capacidad para neutralizar ácidos
Acidez		Corrosividad del agua
Dióxido de carbono	CO_2	
Dureza	(cationes multivalentes)	
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}^2$	Estima los SDT
Radioactividad	Ci	
Carbono orgánico total	COT	Presencia materia orgánica

Fuente: (Moncrieff, 1967)

Los microorganismos y la vida acuática están intrínsecamente relacionadas con las características biológicas y desarrollan un impacto directo de toxicidad en la calidad del agua debido a elementos patógenos.

2.3 Sistema de agua potable

La finalidad de un sistema de agua potable es brindar a los pobladores de una comunidad, localidad, ciudad, etc, agua en cantidad para satisfacer sus necesidades básicas.

Los sistemas rurales de agua potable sirven a poblaciones concentradas o dispersas, pudiendo estar administrados local o regionalmente, en forma autónoma o dependiente de una organización superior. Generalmente, son operados por personal local.

Los sistemas pueden funcionar a gravedad, bombeo o pueden ser mixtos. En un sistema de gravedad el agua circula desde la captación hasta la distribución aprovechando la pendiente natural del terreno. Un sistema por bombeo requiere de equipo electromecánico para el abastecimiento del agua. Un sistema mixto requiere para que el agua circule, tanto de equipo electromecánico como de la pendiente natural del terreno. (Plaza & Yépez, 1998, pág. 5).

Estos sistemas tienen cinco componentes básicos:

- Fuente de abastecimiento y captación.
- Conducción.
- Potabilización.
- Almacenamiento.

- Distribución.

Además de las obras anteriores puede existir una planta de bombeo.

2.4 Fuentes de abastecimiento

La red de abastecimiento de agua potable forma una de las obras relacionadas con el buen vivir de las personas, permitiendo llevar el agua hacia poblaciones relativamente densas como en viviendas de una área rural, pueblo o ciudad.

Las fuentes de abastecimiento deberán brindar en conjunto el gasto máximo diario; sin embargo, en todo proyecto se deberá establecer las necesidades inmediatas de la localidad siendo indispensable que la fuente proporcione el gasto máximo para el periodo de diseño, sin peligro de reducción por sequía o cualquier otra causa.

Las aguas según su origen se clasifican de la siguiente manera:

- Aguas Meteóricas. - Lluvia, nieve granizo.
- Aguas Superficiales. - Ríos, arroyos, lagos, presas, etc.
- Aguas Subterráneas. - De manantial, pozos profundos, de galería filtrante, acuíferos.

Es necesario realizar un levantamiento topográfico con todas las características de la zona de la fuente de abastecimiento, para poder desarrollar un diseño óptimo. (Rodríguez, 2001, pág. 69).

Las fuentes deberán asegurar un caudal mínimo de 2 veces el caudal máximo diario futuro calculado. La determinación del caudal mínimo de la fuente se efectuará por métodos debidamente justificados y aprobados.

2.5 Captación

Es una estructura que permite incorporar la cantidad necesaria de agua desde la fuente de abastecimiento hacia el sistema de agua potable.

La estructura de captación deberá tener una capacidad tal, que permita derivar al sistema de agua potable un caudal mínimo equivalente a 1,2 veces el caudal máximo diario correspondiente al final del período de diseño. (CPE INEN 005-9-1, 1997)

Las obras de captación varían de acuerdo a la naturaleza de la fuente de abastecimiento, su localidad y magnitud.

Tabla 4:

Caudales de Diseño para un Sistema de Agua Potable

ELEMENTO	CAUDAL
• Captación de aguas superficiales	• Máximo diario + 20%
• Captación de aguas subterráneas	• Máximo diario + 5%
• Conducción de aguas superficiales	• Máximo diario + 10%
• Conducción de aguas subterráneas	• Máximo diario + 5%
• Red de distribución	• Máximo diario + incendio
• Planta de tratamiento	• Máximo diario + 10%

Fuente: (CPE INEN 005-9-1, 1997)

Las obras hidráulicas de captación deben diseñarse para garantizar:

- La derivación desde la fuente de las cantidades de agua prevista y su entrega ininterrumpida a los usuarios;
- La protección del sistema de abastecimiento contra el ingreso a la conducción de sedimentos gruesos, cuerpos flotantes, basuras, plantas acuáticas, etc;
- El no ingreso de peces desde los reservorios y ríos;

- Evitar que entre el agua a la conducción durante los períodos de mantenimiento y en casos de averías y daños en la misma.

La configuración, distribución y elección del tipo de estructuras de captación debe elegirse en concordancia con las condiciones naturales del lugar, tipo de obras de conducción, condiciones de operación del sistema, regímenes hidrológicos de la cuenca de drenaje y del río, morfología de las orillas, etc; en base a la comparación técnico-económica de alternativas. (CPE INEN 005-9-1, 1997)

2.6 Conducción

Se denomina líneas de conducción a los conductos u obras que permiten la transportación de agua, estos pueden ser; tuberías, accesorios, estaciones de bombeo, etc. El agua deberá ser conducida en condiciones seguras e higiénicas desde la fuente de abastecimiento hasta el sitio donde se localiza el tanque de regulación, planta potabilizadora o directamente a la red de distribución. Esta conducción se puede efectuar de dos formas, dependiendo la ubicación de la fuente de abastecimiento con respecto a las obras de regulación.

Las obras de conducción deben diseñarse para garantizar:

- El transporte desde la fuente de las cantidades de agua previstas y su entrega ininterrumpida a los usuarios;
- La protección contra el ingreso de cuerpos flotantes, basuras, etc.;
- La protección contra el ingreso de aire en la conducción a presión;
- Limitar las sobrepresiones producidas en el funcionamiento en régimen transitorio;

- La protección de la conducción de la contaminación producida por las aguas superficiales y por el aire;
- La posibilidad de operaciones de mantenimiento, durante los tiempos previstos y para las distintas categorías de garantías de abastecimiento y características de los usuarios. (CPE INEN 005-9-1, 1997)

Las líneas de conducción se clasifican en:

- Por gravedad
- Por bombeo
- Mixta

En los casos en que la obra de captación se encuentre en un nivel topográfico arriba del tanque de almacenamiento, la conducción se realizará, ya sea trabajando como canal (sin presión). O como tubo (a presión), siendo este último el más común en los sistemas de dotación de agua potable.

Por otra parte, si la obra de captación se encuentra a un nivel topográfico abajo del tanque de almacenamiento, planta de tratamiento, etc, la conducción se realizará por bombeo.

Para el proyecto de líneas de conducción a presión se debe tomar en cuenta los siguientes factores principales:

- El tipo y clase de tubería por usar en una conducción depende de las características topográficas de la línea. Es conveniente obtener perfiles que

permitan tener presiones de operación bajas, evitando también tener puntos altos notables.

- Para el trazado de la línea se debe tomar en cuenta los problemas resultantes por la afectación de terrenos ejidales y particulares. De ser posible se utilizará los derechos de vías de cauces de agua, caminos, ferrocarriles, líneas de transmisión de energía eléctrica y linderos.
- En general, las tuberías de conducción deben quedar enterradas, principalmente las de asbesto cemento y PVC.
- Durante el trazado topográfico se deberán localizar los sitios más adecuados para el cruce de caminos, vías férreas, ríos, etc. (Rodríguez, 2001, págs. 117, 127).

2.7 Planta de tratamiento

La infraestructura en donde se trata el agua para que sea apta para el consumo humano, toma el nombre de estación de tratamiento de agua potable y esta necesariamente debe funcionar constantemente, aún con alguno de sus componentes en reparación o mantenimiento; debido a ello es necesario como mínimo dos unidades para cada proceso de la planta.

Se hace necesario analizar la calidad del agua por medio de estudios bacteriológicos y químicos, debido a que la misma puede conllevar a enfermedades infecciosas capaces de ser transportadas por el agua. Principalmente se realiza el tratamiento con el objeto fundamental de mejorar la calidad física, química y bacteriológica del agua proveniente de las obras de toma, a fin de entregarla al consumo, apta, inocua y aprovechable para el hombre, animales, agricultura e industrias y cuyo tratamiento debe contener los

siguientes procesos: el desbaste, clarificación y filtración de las partículas en suspensión y la esterilización. (Orellana, 2005, pág. 1)

1.4.3 Tipos de Tratamiento

“Los tratamientos para potabilizar el agua, se pueden clasificar de acuerdo con: los componentes o impurezas a eliminar, con los parámetros de calidad y con los grados de tratamientos de agua”. (Romero, 2008)

Por lo tanto, se puede realizar una lista de procesos unitarios necesarios para la potabilización del agua en función de sus componentes. De esta forma, la clasificación sería la siguiente:

Tabla 5:

Procesos unitarios posibles a llevar a cabo en función de los contaminantes presentes.

TIPO DE CONTAMINANTE	OPERACIÓN UNITARIA
Sólidos gruesos	Desbaste
Partículas coloidales	Coagulación+Floculación+Decantación
Sólidos en suspensión	Filtración
Materia Orgánica	Afino con Carbón Activo
Amoniaco	Cloración al Breakpoint
Gérmenes Patógenos	Desinfección
Metales no deseados (Fe, Mn)	Precipitación por Oxidación
Sólidos disueltos (Cl ⁻ , Na ⁺ , K ⁺)	Ósmosis Inversa

Fuente: (American Water Works Association, 2002)

1.4.4 Parámetros de Calidad

Las aguas superficiales susceptibles de ser destinadas al consumo humano quedan clasificadas, según el grado de tratamiento que deben incluir para su potabilización, en los 3 grupos siguientes: (Romero, 2008)

TIPO A1: Tratamiento físico simple y desinfección

TIPO A2: Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección

TIPO A3: Tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección

Según la normativa europea del año 1988, los tipos de agua se definen por los siguientes parámetros:

Tabla 6:

Principales parámetros de clasificación de tipos de agua.

Parámetro	Unidad	Tipo A1	Tipo A2	Tipo A3
pH	-	(6,5-8,5)	(5,5-9)	(5,5-9)
Color	Escala Pt	20	100	200
Sólidos en Suspensión	mg/l	25	-	-
Temperatura	°C	25	25	25
Conductividad a 20 C	S/cm	1000	1000	1000
Detergentes	Lauril Sulfato	0,2	0,2	0,5
Plaguicidas Totales	mg/l	0,001	0,0025	0,005
DQO	mg/l O ₂	-	-	30
Oxígeno disuelto	% Saturación	70	50	30
DBO5	mg/l O ₂	3	5	7
Coliformes totales 37 C	100 ml	50	5000	50000
Coliformes fecales	100 ml	20	2000	20000

Fuente: (European Community environment legislation, 1992)

Los procesos unitarios que corresponde cada grado de tratamiento serán los siguientes:

Tabla 7:*Procesos unitarios referidos a cada grado de tratamiento*

Grado de Tratamiento	Composición del Tratamiento	Descripción
Tipo A1	Tratamiento Físico simple + Desinfección	Filtración rápida + Desinfección
Tipo A2	Tratamiento Físico normal + Tratamiento Químico + Desinfección	Precloración + Coagulación / Floculación + Decantación + Filtración + Desinfección
Tipo A3	Tratamiento Físico y Químico intensos + Afino + Desinfección	Cloración al Breakpoint + Coagulación / Floculación + Decantación + Filtración + Afino con Carbón Activo + Desinfección

Fuente: (Pizzi, 2007)

2.8 Potabilización

El proceso de potabilización del agua tiene como objetivo primordial eliminar los organismos patógenos y otras sustancias que puedan ser nocivas o causar problemas a la salud de los habitantes de determinada población. Para que sea satisfactoria deberá de carecer de coloración, sabor, turbiedad y cumplir con los límites permisibles de propiedades físico, químico – bacteriológico, expuestas en las normativas vigentes.

La potabilización se la realizará mediante varias instalaciones, a cuyo conjunto se le da el nombre de PLANTA POTABILIZADORA.

La planta potabilizadora debe diseñarse para el gasto máximo diario, bajo severos estudios basados en la interpretación de los análisis físicos, químicos, bacteriológicos del

agua ya que de estos dependerán las dimensiones y propiedades de cada una de las unidades.

Los procesos que se lleven a cabo en una planta potabilizadora están sujetos a la calidad del agua y gasto por tratar, su proyecto es realizado bajo normas y metodologías específicas. (Rodríguez, 2001, pág. 340).

En síntesis, una planta de tratamiento es una cadena de métodos o procesos unitarios, seleccionados de una forma óptima con el objeto de remover totalmente los contaminantes microbiológicos presentes en el agua cruda y particularmente los físicos y químicos, hasta llevarlos a los límites aceptables indicados por las normas vigentes.

2.9 Almacenamiento

El agua que se obtiene de la captación necesariamente debe ser almacenada en un tanque destinado a este fin, para de esta manera garantizar las variaciones horarias de consumo.

El lugar donde se cambia el régimen de la fuente para ajustarlo al de los consumos, se denomina tanque y se dice que es de regulación.

Con el almacenamiento se logra también mantener una determinada presión del agua en la distribución, así como asegurar el servicio continuo del suministro.

Los tanques de almacenamiento de igual forma garantizan el servicio a cada domicilio aun cuando se tenga paralizaciones por diversos motivos en la planta de tratamiento, captación, línea de conducción, etc. (Rodríguez, 2001, pág. 241).

Los tanques de reserva no están sometidos a presión y se los puede considerar algo estancados por ello suelen exponerse a un alto grado de contaminación, debiendo considerarse respiraderos que a su vez deben protegerse contra los fertilizantes, desechos naturales, y polvo además contra las aguas lluvias que caen sobre la cubierta, todo esto para evitar el ingreso de bacterias a la reserva.

El tanque de almacenamiento o reserva no debe contar con algún tipo de revestimiento interno químico, ni mucho menos juntas herméticas, porque estos alterarían los parámetros de calidad establecidos por la SENAGUA.

El tanque de regulación debe proporcionar un servicio eficiente bajo las normas de higiene y seguridad.

Los tanques de regulación se clasifican en:

- Por los materiales: Acero, concreto, mampostería, ferro cemento.
- Por la forma: Esférico, semiesférico, rectangulares, cilíndrico.
- Por la posición relativa con respecto al terreno: Elevados, enterrados, semienterrados y superficiales. (Rodríguez, 2001, pág. 241).

2.10 Distribución

“La red de distribución, es el conjunto de tuberías que tienen como función dotar de agua a cada beneficiario, ya sea mediante hidrante de toma pública o a base de toma domiciliaria. La distribución comienza en el tanque de almacenamiento y las tuberías que la conforman son de diferentes diámetros, que van enterrados en la vía pública, es decir en terrenos de propiedad del Municipio (nunca en terrenos de propiedad particular), a los

que se conectan tuberías de pequeños diámetros para introducir el agua a los edificios”.

(Rodríguez, 2001, págs. 274, 275)

La red de distribución de agua potable tiene los siguientes objetivos:

- Proporcionar agua pura y sana a todos los usuarios.
- Suministrar agua en cantidad suficiente a todos los usuarios.
- Presión requerida en todas las zonas por abastecer.
- Servicio continuo.
- Costo accesible a la economía de los usuarios.

Entre los principales accesorios que conforman la red de distribución están las tuberías y estas se clasifican según la función a la cual estén destinadas:

- Red principal: Es la red cuya función principal es unir al tanque de almacenamiento con la red secundaria y garantizar que los caudales y presiones sean adecuadas.
- Red secundaria: Se provee de la red principal y abastece a las redes terciarias. Cabe recalcar que no puede haber conexiones domiciliarias directas a la red principal, ni secundaria.
- Red terciaria: Transporta el agua desde la red secundaria hacia las conexiones domiciliarias, los diámetros dependen del uso que se vaya a dar a la conexión sea comercial, industrial, etc.
- Conexión domiciliaria: Es la conexión que se realiza a cada predio mediante la red terciaria. (López R. , 2003, págs. 292, 293).

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y PARÁMETROS DE DISEÑO

3.1 Encuesta

Para conocer la insatisfacción del consumo de agua por parte de los pobladores de la parroquia “El Placer del Toachi” se realizó una breve encuesta. Para ello se inició calculando el tamaño de la muestra, con el fin dar solución a la molestia presentada debido al trato inadecuado que se le da al recurso hídrico para consumo humano.

3.1.1 Cálculo de la muestra

Fórmula:

$$n = \frac{N}{e^2(N - 1) + 1}$$

Donde:

$N =$ tamaño de la población

$n =$ tamaño de la muestra

$e =$ margen de error (0,1 – 0,15)

$$n = \frac{650 \text{ hab}}{0.13^2(650 \text{ hab} - 1) + 1}$$

$$n = 54,31 \approx 54 \text{ hab}$$

3.1.2 Pregunta N° 1

¿EXISTE EL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN LA PARROQUIA “EL PLACER DEL TOACHI”?

Resultados:

Tabla 8:
Pregunta Nro. 1

PREGUNTA N° 1		
Alternativa	Muestra	Porcentaje
Si	0	0
No	50	100
Total	50	100,00

Ilustración gráfica:

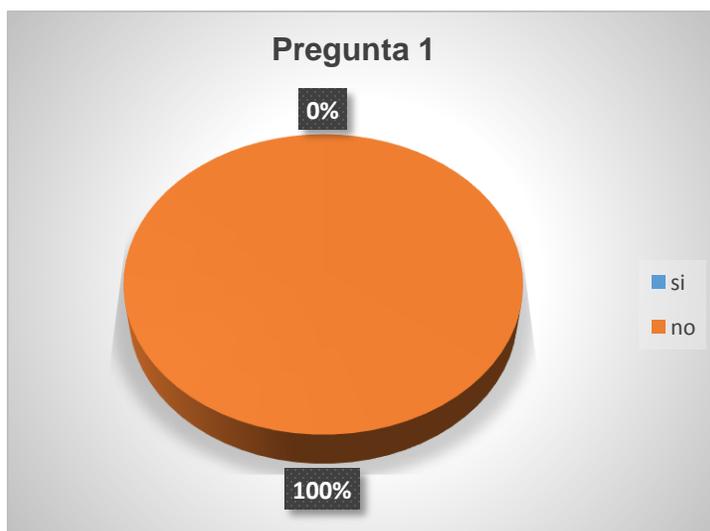


Figura 2: Gráfica 1

Los resultados de la pregunta N° 1 determinan que el 100,00% de los habitantes de la parroquia “El Placer del Toachi” reconocen no tener un sistema de agua potable.

3.1.3 Pregunta N° 2

¿CREE USTED QUE ES CONVENIENTE LA REALIZACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA ESTE SECTOR?

Resultados:

Tabla 9:
Pregunta Nro. 2

PREGUNTA N° 2		
Alternativa	Muestra	Porcentaje
Si	38	24
No	12	76
Total	50	100,00

Ilustración gráfica:



Figura 3: Gráfica 2

Los resultados de la pregunta N° 2 determinan que el 76,00% de los habitantes de la parroquia “El Placer del Toachi” creen conveniente la realización del sistema de agua potable, mientras que el 24,00% no lo creen conveniente.

3.1.4 Pregunta N° 3

¿CUALES SON LAS CARÁCTERÍSTICAS QUE USTED CREE QUE EL SISTEMA DE AGUA POTABLE DEBE TENER?

Resultados:

Tabla 10:
Pregunta Nro. 3

PREGUNTA N° 3		
Características	Muestra	Porcentaje
Económico	16	32
Confiable	15	30
Duradero	19	38
Otros	0	0
Total	50	100,00

Ilustración gráfica:

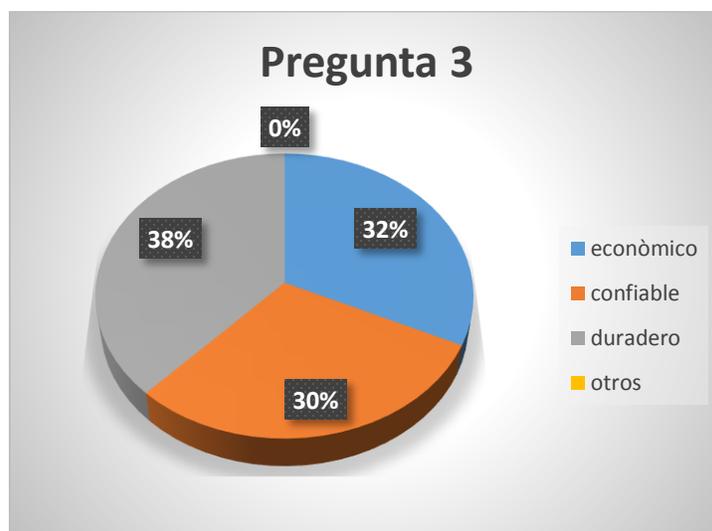


Figura 4: Gráfica 3

Los resultados de la pregunta N° 3 determinan que el 32,00% de los habitantes priorizan un sistema económico, el 30,00% prioriza la confiabilidad, el 38,00% la durabilidad y otras características abarcan el 0,0% de la parroquia encuestada.

3.1.5 Pregunta N° 4

¿CÓMO ESTARÍA USTED DISPUESTO A COLABORAR PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA ESTE SECTOR?

Resultados:

Tabla 11:
Pregunta Nro. 4

PREGUNTA N° 4		
Alternativas	Muestra	Porcentaje
Mano de Obra	19	38
Alimentos	16	32
C. Económica	15	30
Total	50	100,00

Ilustración gráfica:

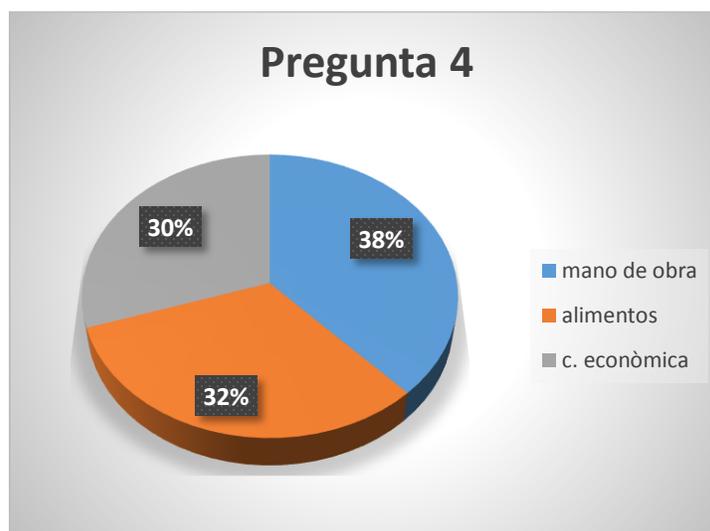


Figura 5: Gráfica 4

Los resultados de la pregunta N° 4 determinan que el 38,00% de los habitantes aportarán con mano de obra, el 32,00% aportarán con alimentos, y el 30,00% contribuirían económicamente.

3.2 Topografía

El levantamiento topográfico se lo realizó en dos partes, la primera fue desde la galería sobre el río Achotillo hasta el tanque reservorio aproximadamente por donde se encuentra la red existente, levantando una faja topográfica de 4 m. de ancho. La segunda parte del levantamiento es a partir del tanque de reserva hacia todo el centro poblado de la parroquia “El Placer del Toachi”.

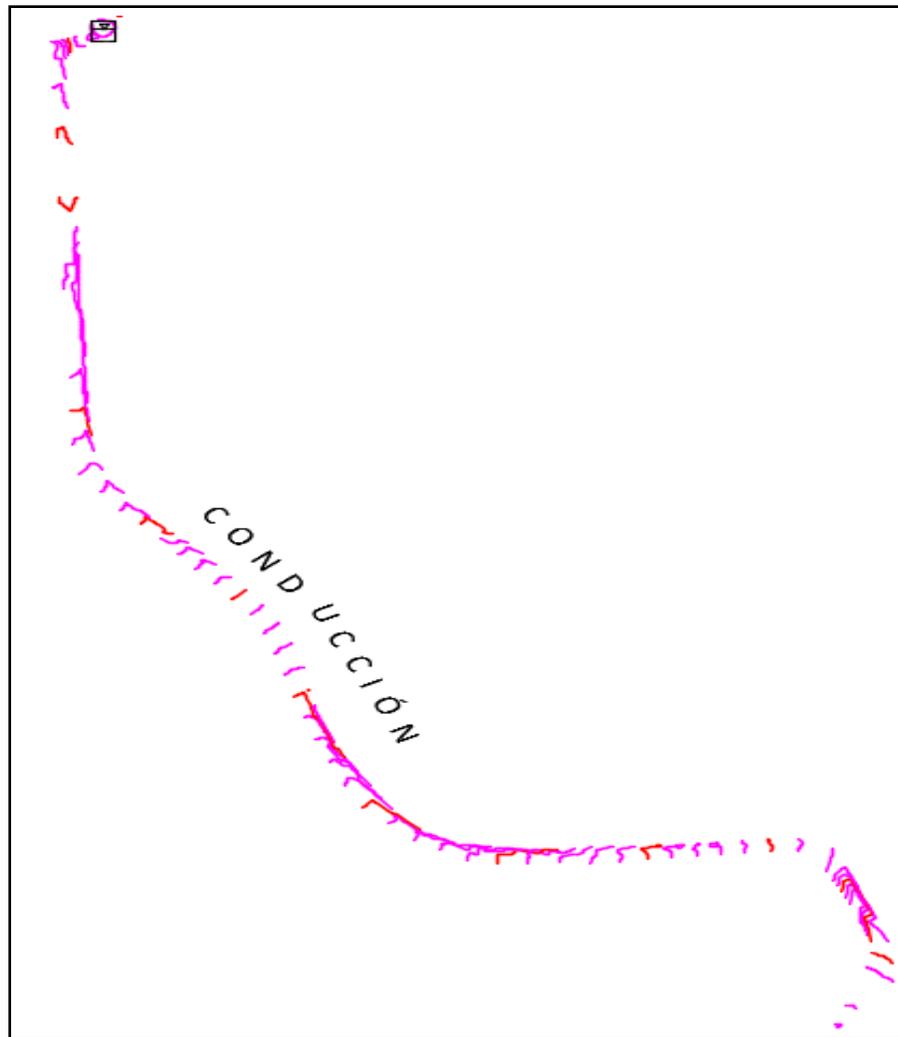


Figura 6: Faja Topográfica en Línea de Conducción Principal

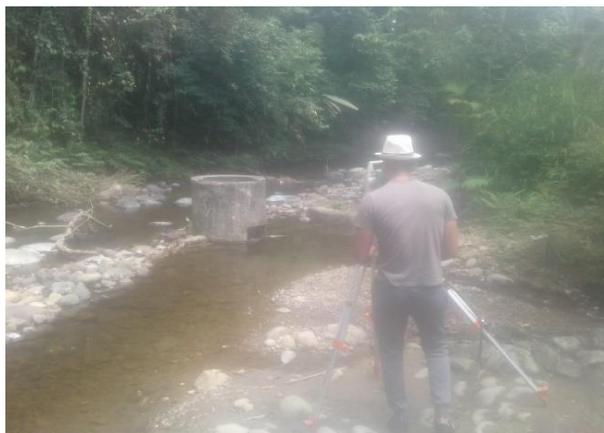


Figura 7: Levantamiento Topográfico

3.3 Fuente de Abastecimiento

La fuente natural que abastece a la captación, al tanque reservorio y que posteriormente alimenta a toda la red de agua potable es el río Achotillo ubicado en la cota 470,70 msnm. En el existe actualmente una galería que es parte del sistema actual.

La fuente de abastecimiento asegura un caudal mínimo de 2 veces el caudal máximo diario futuro calculado, como lo establece la Secretaría Nacional del Agua.



Figura 8: Río Achotillo

3.4 Captación

3.4.1 Captación Actual

La estructura de captación existente antigua se alimenta del caudal brindado por la fuente de abastecimiento y esta cumple con derivar al sistema de agua potable un caudal mínimo equivalente a 1,2 veces el caudal máximo diario correspondiente al final del período de diseño como lo indica la SENAGUA. Haciendo que de una manera constante e infinita el recurso hídrico aforado sea el mismo que entre hacia la captación. Por lo tanto:

$$\text{Caudal de la Captación} = 1,2 * 2,78 \frac{lt}{s}$$

$$\text{Caudal de la Captación} = 3,336 \frac{lt}{s}$$

$$\text{Caudal Aforado} = 11,58 \frac{lt}{s}$$

Caudal Aforado > Caudal de la Captación

Cumple



Figura 9: Galería sobre el Río Achotillo

3.4.2 Captación Calculada

A partir del caudal de 11,58 lt/s que se deriva hacia el bombeo se diseñó una correcta obra de captación y a través de la ley de Darcy se encontró el coeficiente de permeabilidad del geotextil no tejido a usarse, además de previamente estimar un diámetro de la galería de 2,0 m y una altura de 0,30 m desde la tela no tejida hasta el eje del tubo agujereado de PVC que recibe el agua filtrada de todo este proceso para eliminar cualquier tipo de sedimento.

Fórmula:

$$Q = k_m * A$$

Donde:

Q = Caudal.

k_m = Coeficiente de permeabilidad medio.

k_i = Coeficiente de permeabilidad.

A = Área

$$Q = \frac{\sum Hi}{\sum \frac{Hi}{k_i}} * \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$0,01158 \frac{m^3}{s} = \frac{0,30 m}{\frac{0,30 m}{k_i}} * \frac{\pi * (2 m)^2}{4}$$

$$k_i = \frac{0,01158 m/s}{\pi}$$

$$k_i = 0,00368 \frac{m}{s} \approx 0,37 \frac{cm}{s}$$

Por lo tanto el geotextil no tejido que se sugiere es el G-10 que cuenta con las características mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 12
Características del Geotextil G-10

Ensayo	G-10	Unidades
Coef. De Permeabilidad	0,35	cm/s
Resistencia a la Tracción	210	N
Espesor	1,8	mm
Longitud del Rollo	100	m
Ancho del Geotextil	2,5	m
Superficie	250	m ²

En la **Figura 10** se puede observar un corte del diseño de la galería, en donde además de ubicarse el geotextil G-10 se coloca por recomendación dos capas de 0,30 m de espesor de agregado grueso del sector, de diámetro variable entre 50 y 100 mm, una antes y otra después de la tela no tejida, todo esto por debajo de las rejillas consideradas para este caso de 0,50 m, las mismas que permiten la entrada y salida del cauce de agua dentro de la galería.

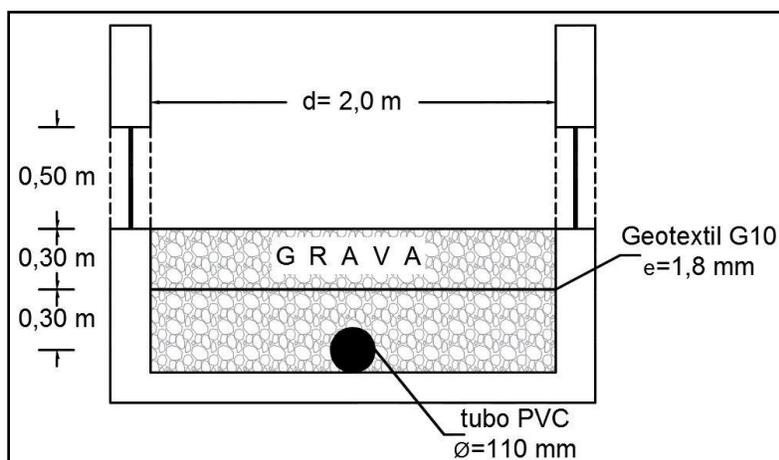


Figura 10: Detalle de la Galería

Sin embargo, para fines de simulación en el software WaterCad únicamente se requiere la cota de la galería e introducir el caudal captado por la misma, concluyendo que no influyen en la corrida estática y dinámica las dimensiones de este elemento.

3.5 Método para la Determinación del Aforo.

El río Achotillo es la fuente que se estudió, este se encuentra ubicado hacia el nordeste de la parroquia “El Placer del Toachi” y la cota del espejo del agua en la obra de captación existente es de 470,7 msnm.

3.5.1 Aforo Volumétrico

El método de aforo empleado para la determinación del caudal disponible es el volumétrico, debido a que este de una forma sencilla y directa nos permite calcular los caudales disponibles según sea la fuente hídrica. Se trata solamente de tomar el tiempo de llenado de un recipiente con volumen conocido con ayuda de un cronómetro. Para la determinación del caudal disponible y por prestar las facilidades que el caso amerita en este trabajo, se hizo una simulación justamente en la galería existente sobre el río por

medio de una tubería de PVC de 110 mm de diámetro, la misma que hacía las veces de un cañería de conducción que descargaba sobre el recipiente graduado.

Para una mayor precisión en los resultados del aforo se realizó cinco medidas que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 13:
Tiempos de aforo

FECHA	VOLUMEN RECIPIENTE	TIEMPO DE LLENADO
22/04/2018	10 litros	00'00,861"
22/04/2018	10 litros	00'00,848"
22/04/2018	10 litros	00'00,851"
22/04/2018	10 litros	00'00,873"
22/04/2018	10 litros	00'00,883"

El promedio del tiempo de llenado es de 00'00,863"



Figura 11: Aforo Volumétrico

3.5.2 Caudal Disponible.

Una vez que se tiene el tiempo de aforo promedio y que además se conoce el recipiente con el cual se realizó el aforo volumétrico; se procede a encontrar el caudal disponible de la fuente por medio de una simple operación matemática.

$$t_{aforo\ promedio} = 0,863\ seg$$

$$R_{aforo} = 10\ lt$$

$$Q_{aforo} = \frac{\text{Recipiente de aforo}}{\text{tiempo de aforo}}$$

$$Q_{aforo} = \frac{10\ lt}{0,863\ s}$$

$$Q_{aforo} = 11,58\ lt/s$$

3.6 Población de Diseño

Para determinar la población actual en la parroquia rural “El Placer del Toachi” se consideró un estimado de 5 habitantes por cada lote catastrado, esto debido a que en la actualidad no todos los lotes tienen algún tipo de vivienda y los que sí, presentan familias pequeñas de 4 a 5 personas. Por ello se maximizó la cantidad de personas que puedan existir. Hay que recalcar que parte del catastro topográfico fue proporcionado por parte del consejo provincial del cantón Tsáchila, dando como resultado un total de 129 lotes que conforman todo este sector.

$$\text{Habitantes} = 129\ \text{lotes} * 5\ \text{hab/lote}$$

$$\text{Habitantes} = 645\ \text{hab} \approx 650\ \text{hab}$$

3.6.1 Población Futura

Se puede adoptar uno o varios métodos de proyección para estimar la población servida y estos pueden ser: aritmético, geométrico, mixto, etc, para los cuales se utilizó como periodo de diseño 20 años y como índice de crecimiento el de la provincia Tsáchila ya que este factor alberga a toda la zona de estudio.

3.6.1.1 Método Aritmético

$$Pf_a = Pa(1 + r * n)$$

Pf_a = Población futura por el Método Aritmético

Pa = Población actual

r = Índice de crecimiento (2,36 % para la provincia Tsáchila según el INEC)

n = Período de diseño (20 años)

$$Pf_a = 650(1 + 0,0236 * 20)$$

$$Pf_a = 956,8 \approx 957 \text{ hab}$$

3.6.1.2 Método Geométrico

$$Pf_g = Pa(1 + r)^n$$

Pf_g = Población futura por el Método Geométrico

$$Pf_g = 650(1 + 0,0236)^{20}$$

$$Pf_g = 1036,37 \approx 1036 \text{ hab}$$

3.6.1.3 Método Mixto

$$Pf_m = \frac{Pf_a + Pf_g}{2}$$

Pf_m = Población futura por el Método Mixto

$$Pf_m = \frac{957 + 1037}{2}$$

$$Pf_m = 997 \text{ hab}$$

Tabla 14:
Métodos de proyección

Método	Población de Diseño
Aritmético	957 hab.
Geométrico	1036 hab.
Mixto	997 hab.

Por lo tanto se adopta el resultado del Método Geométrico para obtener la población de diseño esto por ser el valor más alto y el más confiable de los métodos. En la **Tabla 15** se muestra la proyección de los 20 años del periodo de diseño. Además como recomendación se alargó tres años más desde que se aprueba el estudio, ya que cuando se da el inicio del contrato en nuestro medio se suele tardar varios años por delante para su posterior construcción. Debido a ello se toma todos los parámetros de diseño del año 2041, por lo tanto la población con la que se trabajó es de 1112 habitantes.

Tabla 15:
Proyección de los Parámetros de Diseño

ITEM	AÑO	POBLACIÓN	DOTACIÓN	FUGAS	Qm (l/s)	FACT OR		Q INCE	CAUDAL DE DISEÑO (l/s)				
						1,25	3		1,2	1,1			
						QMD (l/s)	QMH (l/s)		CAPTACIÓN	CONDUCCIÓN	TRATAMIENTO	DISTRIBUCIÓN	RESERVA (m3)
0	2018	650	121	20%	1,09	1,37	3,28	0	1,64	4,92	1,50	3,28	47
1	2019	665	122	20%	1,13	1,41	3,38	0	1,69	5,07	1,55	3,38	49
2	2020	681	123	20%	1,16	1,45	3,49	0	1,75	5,24	1,60	3,49	50
3	2021	697	124	20%	1,20	1,50	3,60	0	1,80	5,40	1,65	3,60	52
4	2022	714	125	20%	1,24	1,55	3,72	0	1,86	5,57	1,70	3,72	54
5	2023	730	126	20%	1,28	1,60	3,83	0	1,92	5,75	1,76	3,83	55
6	2024	748	127	20%	1,32	1,65	3,96	0	1,98	5,93	1,81	3,96	57
7	2025	765	128	20%	1,36	1,70	4,08	0	2,04	6,12	1,87	4,08	59
8	2026	783	129	20%	1,40	1,75	4,21	0	2,11	6,32	1,93	4,21	61
9	2027	802	130	20%	1,45	1,81	4,34	0	2,17	6,51	1,99	4,34	63
10	2028	821	131	20%	1,49	1,87	4,48	0	2,24	6,72	2,05	4,48	65
11	2029	840	132	20%	1,54	1,93	4,62	0	2,31	6,93	2,12	4,62	67
12	2030	860	133	20%	1,59	1,99	4,77	0	2,38	7,15	2,18	4,77	69
13	2031	880	134	20%	1,64	2,05	4,91	0	2,46	7,37	2,25	4,91	71
14	2032	901	135	20%	1,69	2,11	5,07	0	2,53	7,60	2,32	5,07	73
15	2033	922	136	20%	1,74	2,18	5,23	0	2,61	7,84	2,40	5,23	75
16	2034	944	137	20%	1,80	2,25	5,39	0	2,69	8,08	2,47	5,39	78
17	2035	966	138	20%	1,85	2,32	5,56	0	2,78	8,33	2,55	5,56	80
18	2036	989	139	20%	1,91	2,39	5,73	0	2,86	8,59	2,63	5,73	82
19	2037	1012	140	20%	1,97	2,46	5,91	0	2,95	8,86	2,71	5,91	85
20	2038	1036	141	20%	2,03	2,54	6,09	0	3,04	9,13	2,79	6,09	88
21	2039	1061	142	20%	2,09	2,62	6,28	0	3,14	9,41	2,88	6,28	90
22	2040	1086	143	20%	2,16	2,70	6,47	0	3,23	9,70	2,97	6,47	93
23	2041	1112	144	20%	2,22	2,78	6,67	0	3,33	10,00	3,06	6,67	96

3.7 Dotación

Al consumo de agua para los distintos usos necesarios diarios que tiene el ser humano como el aseo, la limpieza, la comida, entre otros, se lo conoce con el nombre de dotación y esta obedecerá a factores como el clima, la ubicación geográfica y la cultura de cada región.

3.7.1 Dotación Básica

De acuerdo a lo establecido por norma se eligió el nivel de servicio IIb para clima cálido, esto debido a que la parroquia estudiada se encuentra en un trópico cálido húmedo y por lo tanto la dotación básica fue de 100 L/hab*día.

Tabla 16:

Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio.

NIVEL DE SERVICIO	CLIMA FRIO (L/hab*día)	CLIMA CÁLIDO (L/hab*día)
Ia	25	30
Ib	52	65
IIa	60	85
IIb	75	100

Fuente: (CPE INEN 005-9-1, 1997)

3.7.2 Dotación Actual

Es la cantidad de agua potable, consumida diariamente, en promedio anual por cada habitante, expresado en lt/hab/día al inicio del periodo de diseño. Incluye los consumos doméstico, comercial, industrial y público, al inicio del período de diseño. (CPE INEN 005-9-1, 1997)

El sector público, la población, la industria y el comercio son los factores de mayoración quienes inciden para cualquier tipo de población. (Secretaría del Agua, 1992)

Doméstico	1,00	F1
Industrial	1,00	F2
Comercial*	1,02	F3
Publico**	1,03	F4

Doméstico.- “El Placer del Toachi” presenta este factor ya que cuenta con una población estimada que habita en ella y se dedica a la agricultura tradicional, orgánica y natural, además de conocer que el sector posee una agricultura bovina, porcina avícola entre otras.

Comercial*.- Puesto a que la parroquia se encuentra camino hacia el noroccidente de pichincha, hace de esta un lugar con locales de abarrotes y comedores. Además parte de la población se dedica a actividades turísticas.

Publico**.- La zona de estudio cuenta con dos instituciones: una de educación primaria y otra de educación secundaria.

Factor de Perdidas (f).- 1,15

Dotación básica (Do) = 100 L/hab*día.

$$\text{Dotación Actual} = \text{Do} * \text{F1} * \text{F3} * \text{F4} * \text{f}$$

$$\text{Dotación Actual} = 100 * 1,0 * 1,02 * 1,03 * 1,15$$

$$\text{Dotación Actual} = 120,82 \text{ lt/hab/día}$$

$$\text{Dotación Actual} = 121,0 \text{ lt/hab/día}$$

En conclusión se destinó el consumo de agua para satisfacer necesidades de carácter doméstico, comercial y público, por ello se calcula y asume una dotación actual de 121 lt/hab/día.

3.7.3 Dotación Media Futura

Es el caudal de agua potable consumido diariamente, en promedio, por cada habitante, expresado en lt/hab/día. Incluye los consumos doméstico, comercial, industrial y público, al final del periodo de diseño. (CPE INEN 005-9-1, 1997)

Se consideran varios aspectos para satisfacer las distintas necesidades de cada población en lo que respecta a agua potable y estos se fundamentan en los estudios de cada región o lugar. Entre ellos tenemos los siguientes:

- Las condiciones climáticas del lugar.
- Las dotaciones fijas para distintos sectores de la ciudad, considerando las necesidades de los distintos servicios públicos.
- Las necesidades de agua potable para la industria.
- Los volúmenes de protección contra incendios.
- Las dotaciones para lavados de mercados, camales, plazas, calles piletas, etc.
- Otras necesidades, incluyendo aquellas destinadas a la limpieza de sistemas de alcantarillado.

La determinación de la dotación futura se efectuará en base a un aumento periódico constante de la dotación actual, en valores de 1 a 2 lt/hab/día por cada año, de acuerdo al estudio que se efectúa de las condiciones socioeconómicas de la población.

$$\text{Dotación Media Futura} = (\text{Dot. actual}) + (20 \text{ años}) * (1,0 \text{ lt/hab/día})$$

$$\text{Dotación Media Futura} = 121,0 + 20$$

$$\text{Dotación Media Futura} = 141,0 \text{ lt/hab/día}$$

Por lo tanto se destinó el consumo de agua para satisfacer necesidades de carácter doméstico, industrial, comercial y público, calculándose 141 lt/hab/día para un periodo de diseño de 20 años, pero como se muestra en la **Tabla 15** finalmente la dotación media futura es 144 lt/hab/día, la misma que se estima para tres años de retrasos que suelen presentarse en nuestro medio.

3.8 Demanda

Se sabe que el ser humano necesita obligadamente una cierta cantidad de agua potable para subsistir de una manera digna y sana. En otras palabras a esta exigencia se la conoce como demanda y no es más que el valor de consumo por habitante en un día del líquido vital.

3.8.1 Caudal Medio (Q_m)

Es el promedio aritmético de los consumos diarios registrados en un año y se lo obtiene multiplicando la dotación media futura por la población al final del período de diseño.

Fórmula:

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

Donde:

Q_m = Caudal medio.

D = Dotación futura.

P = Población Futura.

f = Factor de fuga. Expresado en la **Tabla 17**

$$Q_m = \frac{1,2 * (1112 \text{ hab} * 144 \text{ lt/hab/dia})}{86400}$$

$$Q_m = 2,22 \text{ lt/s}$$

3.8.2 Caudal Máximo Diario (QMD)

El caudal máximo diario futuro se obtiene multiplicando el caudal medio diario al final del periodo de diseño, por un coeficiente de mayoración máximo diario (KMD) cuyo valor es de 1,25 para todos los niveles de servicio según la secretaría del agua.

Fórmula:

$$QMD = KMD * Qmd$$

$$QMD = 1,25 * 2,22 \text{ lt/s}$$

$$QMD = 2,78 \text{ lt/s}$$

3.8.3 Caudal Máximo Horario (QMH)

Es el caudal registrado en la hora de máximo consumo al final del periodo de diseño y se determina multiplicando el caudal medio diario por un coeficiente de variación horaria (KMD) cuyo valor es de 3 para todos los niveles de servicio. (CPE INEN 005-9-1, 1997)

Para cubrir con los consumos simultáneos máximos más frecuentes y asegurar el abastecimiento y la distribución del agua, la SENAGUA propone el coeficiente

establecido, debido al aumento de la población y el crecimiento del consumo futuro en la misma.

Fórmula:

$$QMH = KMH * Qmd$$

$$QMH = 3,0 * 2,22 \text{ lt/s}$$

$$QMH = 6,66 \text{ lt/s}$$

3.8.4 Fugas

Cantidad no registrada de agua, perdida por escape del sistema. Para el cálculo de los diferentes caudales de diseño, se tomará en cuenta por concepto de fugas los porcentajes indicados en la **Tabla 17**

Tabla 17:

Porcentaje de fugas a considerarse en el diseño.

NIVEL DE SERVICIO	PORCENTAJES DE FUGAS
la y lb	10%
IIa y IIb	20%

Fuente: (CPE INEN 005-9-1, 1997)

3.9 Conducción

3.9.1 Caudal de Diseño

“En sistemas de conducción a bombeo, el caudal de diseño se establecerá en función del consumo máximo diario y el número de horas de bombeo”. (CPE INEN 005-9-1, 1997)

3.9.2 Caudal de Bombeo

La topografía de la parroquia en estudio hace que se requiera un bombeo, ya que la cota de la captación es de 470,70 msnm y la de la tapa del tanque reservorio es de 522,00 msnm. Por ello en sistemas de conducción a bombeo, el caudal de diseño se establece en función del caudal máximo diario y el número de horas de bombeo. (Secretaría del Agua, 1992). De acuerdo con la siguiente expresión:

Fórmula:

$$Qb = 1,05 * QMD * \frac{24}{\text{Período de bombeo}}$$

Donde:

Qb = Caudal de bombeo

QMD = Caudal máximo diario

Período de bombeo = Horas de bombeo al día = 7 horas

$$Qb = 1,05 * 2,78 * \frac{24}{7}$$

$$Qb = 10,00 \text{ lt/s}$$

Teniendo el caudal de bombeo, se debe verificar que el caudal disponible (caudal de la fuente) sea suficiente para satisfacer el diseño. Entonces se debe realizar el siguiente análisis:

$$Q \text{ aforo} > Q \text{ bombeo}$$

$$11,58 \text{ litros/segundo} > 10,00 \text{ litros/segundo}$$

Analizando los resultados anteriores, el caudal de bombeo requerido es menor que el caudal que proporciona la fuente de captación, por lo que es aceptable.

3.10 Tratamiento

En esta estación del diseño de la red es en donde se elimina olores y sabores desagradables, además de la dureza y de todas las bacterias patógenas que el agua cruda presenta. Todo ello a través de procesos físico químicos se logra obtener el agua potable requerida para el consumo humano.

En cualquier tipo de agua se considerará la desinfección como tratamiento mínimo. La capacidad de la planta de potabilización será de 1,10 veces el caudal máximo diario correspondiente al final del período de diseño. (CPE INEN 005-9-1, 1997)

3.10.1 Alternativas del Tratamiento

Existen varias alternativas para la potabilización del agua, las mismas que están determinadas de acuerdo al tipo de agua que se vaya a tratar. De los resultados físicos, químicos y bacteriológicos realizados a las muestras de agua recolectadas de la fuente de abastecimiento y del tanque reservorio, determinamos que el agua no presenta un grado de contaminación alarmante, ya que los parámetros correspondientes a la calidad de agua cumplen con los admisibles establecidos por la SENAGUA. Sin embargo se realizará una desinfección con hipoclorito de calcio para acabar con cualquier agente patógeno maligno, porque esta es una de las soluciones químicas que elimina las bacterias en los recipientes y suministros de agua. El yodo, el ozono, la cal viva y la luz ultravioleta pueden ser otros desinfectantes.

3.10.2 Cálculo del Hipoclorito de Calcio

Concentración de cloro = 1 mg/lit.

Caudal máximo diario QMD = 2,78 lit/seg.

Cálculo del volumen de agua consumida.

$$V = QMD * 86400 \text{ seg.}$$

$$V = 2,78 \text{ lt/seg.} * 86400 \text{ seg}$$

$$V = 240192 \text{ lts.}$$

$$V = 240,192 \text{ m}^3$$

Cálculo del consumo de cloro.

$$V = (\text{Vagua} * 1 \text{ ppm}) / 0,70$$

$$V = (240,192 \text{ m}^3/\text{día} * 1 \text{ gr/m}^3) / 0,70$$

$$V = 0,343 \text{ kg/día.}$$

La Secretaría Nacional del Agua establece garantizar al menos 3 meses la cantidad de hipoclorito en el tanque de tratamiento, por lo tanto:

$$V (3 \text{ meses}) = 0,343 \text{ kg/día} * 90 \text{ días}$$

$$V (3 \text{ meses}) = 30,88 \text{ kg.}$$

3.10.3 Localización del Tratamiento

El tratamiento se dará en un tanque de 500 lt de capacidad sobre la reserva actual, debido a que este sitio no presenta mayor riesgo de contaminación.

En el tanque en mención se encontrará el hipoclorito de calcio y por medio de goteo se dosificará hacia la reserva actual.

3.11 Reserva

El tanque reservorio existente se encuentra sobre los 518 msnm y presenta las siguientes coordenadas 9985476,090 Norte y 707849,315 Este. Cuenta con una capacidad volumétrica de llenado de 119,74 m³, es de sección circular de 7 m de diámetro exterior y con una profundidad de 4 m. El reservorio se encuentra en buenas condiciones

y está construido en su totalidad por hormigón armado. El mantenimiento en esta obra civil es periódico ya que cada dos meses se lo limpia. Además hay que mencionar que este tanque se encuentra enterrado casi en su totalidad.



Figura 12: Tanque de Reserva Actual

3.11.1 Reserva actual

La parroquia “El Placer del Toachi” cuenta con una reserva actual que tiene las siguientes características:

$$h \text{ (altura)} = 3,5 \text{ m}$$

$$D \text{ (diámetro int.)} = 6,60 \text{ m}$$

Y con ella se calcula el volumen de la misma:

$$\text{Volumen (reserva)} = \frac{\pi * D^2}{4} * h$$

$$\text{Volumen (reserva)} = \frac{\pi * 6,60^2}{4} * 3,50$$

$$\text{Volumen (reserva)} = 119,74 \approx 120 \text{ m}^3$$

3.11.2 Reserva calculada

La capacidad del almacenamiento es del 50% del volumen medio diario futuro, debido a que este compensa la variación horaria de consumo. En ningún caso, el volumen de almacenamiento será inferior a 10 m³. (CPE INEN 005-9-1, 1997) Por consiguiente:

$$QMD = 2,22 \frac{lt}{s} * \frac{1m^3}{1000 lt} * \frac{86400 s}{1 día}$$

$$QMD = 191,80 m^3$$

$$V (reserva) = 50\% QMD$$

$$V (reserva) = 50\% (191,80 m^3)$$

$$V (reserva) = 95,90 m^3$$

$$V (reserva) asumido = 96,00 m^3$$

Debido a que el volumen de reserva del tanque actual es mayor al calculado por la recomendación de la norma, se optó en dejar para el análisis del presente trabajo el reservorio actual.

3.12 Distribución

Para el diseño de la red de distribución se consideró como diámetro nominal mínimo tubería de 19 mm, por lo establecido en norma, optimizando el control de velocidades y de presiones en los nudos.

Debido a la forma que tienen las manzanas en la parroquia "El Placer del Toachi", la red de distribución se formó por la combinación de mallas y ramales abiertos sobre todo en los nudos que llegan hasta calles sin salida. Se independizó varios ramales de la red por medio de válvulas, con el fin de poder dar mantenimiento a las tuberías en caso de daño alguno.

El diseño de la distribución es en base a la **Tabla 15** del presente trabajo, es decir con el caudal máximo horario más el caudal de incendios, pero solo se consideró en nuestro modelo el caudal máximo horario, ya que el código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable en el sector rural, indica que no existe caudal de incendios para estas zonas.

3.13 Evaluación de la Calidad del Agua

Los requisitos para cumplir con los parámetros de agua potable se encuentran en la norma NTE INEN 1 108, siendo estos análisis físico – químicos, que determinan agua de calidad apta para el consumo humano, libre de bacterias y efectos nocivos contra la salud de las personas.

La toma de muestras para el análisis posterior en laboratorio sobre la calidad de agua se desarrolló en dos puntos estratégicos sobre la red empírica existente creada por los habitantes de la parroquia “El Placer del Toachi”. El primer punto fue sobre el cauce del río Achotillo, justo antes del ingreso del agua cruda hacia la galería. El segundo punto a considerar fue luego del paso de agua sobre el tanque de reserva, exactamente en la primera vivienda que se abastece del recurso natural.



Figura 13: Muestra 1



Figura 14: Muestra 2

3.13.1 Análisis Físico – Químicos

Se realizan para determinar el tipo de agua con la se cuenta, antes de darle un previo tratamiento a la misma.

3.13.1.1 Temperatura y Potencial de Hidrógeno “pH”

Se midió la temperatura al igual que el potencial de hidrógeno a través del multiparamétrico, instrumento que posee un electrodo que a su vez debe ser sumergido en cierta cantidad de la muestra, para determinar los parámetros establecidos. Para este

ensayo se debe calibrar el multiparamétrico previo a su uso, además se debe lavar siempre el electrodo con agua destilada para cada medida.

3.13.1.2 *Color*

El color se lo determinó de una manera empírica apreciando las muestras en un sitio con gran claridad y concluyendo la escala de color que presentan las muestras tomadas en situ.

3.13.1.3 *Conductividad*

Cambiando el electrodo en el multiparamétrico se procedió a realizar el ensayo de conductividad, en donde primero se introdujo el mismo sobre una solución de cloruro de sodio en 5 ml de agua, para después tomar la medida de la conductividad eléctrica dentro de un recipiente con cierta cantidad de la muestra cómo se procedió en el ensayo de pH y temperatura.

3.13.1.4 *Nitratos y Nitritos*

Por medio del equipo Spectrophotometer HACH DR-5000 y usando los reactivos NitraVer 5 Nitrate Reagent y el NitriVer 3 Nitrite Reagent, se logró medir la concentración de nitratos y nitritos correspondientes.

3.13.2 *Análisis Microbiológicos*

3.13.2.1 *Coliformes Fecales y Coliformes Totales*

Gracias a la colaboración del laboratorio de la empresa de agua potable de Santo Domingo de los Tsáchilas pudimos obtener los resultados respectivos de coliformes fecales y totales.

Tabla 18:
Resultados del Ensayo de Calidad de Agua.

Parámetro	Unidad de Medida	Criterio de Calidad	Resultado		Observación
			Muestra 1	Muestra 2	
Temperatura	C	25	15,2	15,1	Cumple
Potencial de Hidrógeno	Ph	(6,5-8,5)	6,26	5,24	Cumple
Color	Pt-Co	20	ND*	ND*	Cumple
Conductividad	uS/cm	1000	19,39	43,57	Cumple
Nitratos	mg/L	50	5.3	4.8	Cumple
Nitritos	mg/L	0.2	ND*	ND*	Cumple
Coliformes Fecales	UFC/100mL	20	Ausencia	Ausencia	Cumple
Coliformes Totales	NMP/100mL	50	Ausencia	Ausencia	Cumple

(ND*): Valores que se encuentran por debajo del rango de lectura. No detectables por el equipo (Espectrofotómetro UV Marca: Hach – Modelo: DR 5000).

En base a los resultados obtenidos de los análisis realizados podemos concluir que este tipo de agua no presenta contaminación alguna, a pesar de ello se dio un tratamiento de desinfección por medio de hipoclorito calcio.

CAPÍTULO IV

MODELAMIENTO

4.1 Introducción

Por medio de los parámetros de diseño establecidos en la SENAGUA y calculados en el capítulo anterior, se procede con el modelamiento del sistema de agua potable, comprobando las presiones y velocidades mínimas a cumplir por norma, a través de una corrida en periodo estático o permanente. Del mismo modo se corre el modelamiento en periodo dinámico o extendido para conocer el funcionamiento de toda la red, además de observar algún tipo de pérdida en el sistema.

4.2 Alternativa optima

Para optimizar la red de agua potable se calculó y diseñó la misma, considerando el sistema existente y comprobando ciertos criterios como por ejemplo que la fuente de agua que es el “Río Achotillo” sea lo suficientemente capaz de abastecer a la población de diseño para la parroquia “El Placer del Toachi”, además se comprobó que la bomba existente cumpla con la potencia suficiente para proveer el caudal necesario hacia el tanque reservorio, también se verificó que la línea de conducción sea la adecuada y que tenga la velocidad y presión mínima que especifica la norma, por último se analizó que el tanque de reserva sea el apropiado para el modelamiento de la red.

En el diseño presentado se modificó todo el sistema de distribución a partir de la reserva, debido a que la red existente con la que cuenta la población está desarrollada sin ningún criterio alguno, ya que existen pérdidas en las tuberías y en algunas acometidas domiciliarias el agua ni siquiera llega al consumidor final, todo esto sin

mencionar que el sistema anterior no tiene una proyección para una población futura. Por ello se modelo con mallas en lotes que aún no son habitados, pero que constan dentro de la planificación de la parroquia, incrementando el trazado de la tubería y el consumo por parte de la población a futuro.

4.3 Oferta

Se pudo determinar que El “Río Achotillo” que es la fuente actual que suministra agua a toda la red, ofrece un caudal de gran capacidad, pero del mismo sólo se toma 11,58 litros/segundo, debido a que existen dos tuberías de 4 pulgadas desde la galería o captación hacia la bomba y por lo tanto se pudo realizar una simulación para determinar el aforo correspondiente, concluyendo que el mismo es el necesario para toda la demanda de la población futura de la parroquia.

4.4 Demanda

La demanda del sistema viene dada por el consumo de la población futura en el sector a estudiar. Esta demanda horaria es de 6,67 litros/segundo, siendo un consumo menor para la oferta proyectada, ya que si se requiere de un mayor caudal a futuro se tomaría un mayor volumen de agua en la captación.

4.5 Implementación y Trazado de Tubería

El trazado de la red se la hizo teniendo en cuenta todo el catastro de la parroquia, abasteciendo a todos los lotes por igual, estén habitados o no. Este trazo se lo realizó desde la captación en el Río Achotillo hasta el cementerio del lugar y se implementó la tubería como recomendación constructiva para poder encontrarla ante una reposición o mantenimiento de la misma a 80 cm desde la acera, siempre hacia el punto cardinal norte

y este. Esta tubería se encuentra enterrada dentro de una zanja de 1 m. de profundidad.

En la siguiente figura se detalla el trazado de la red en color azul.

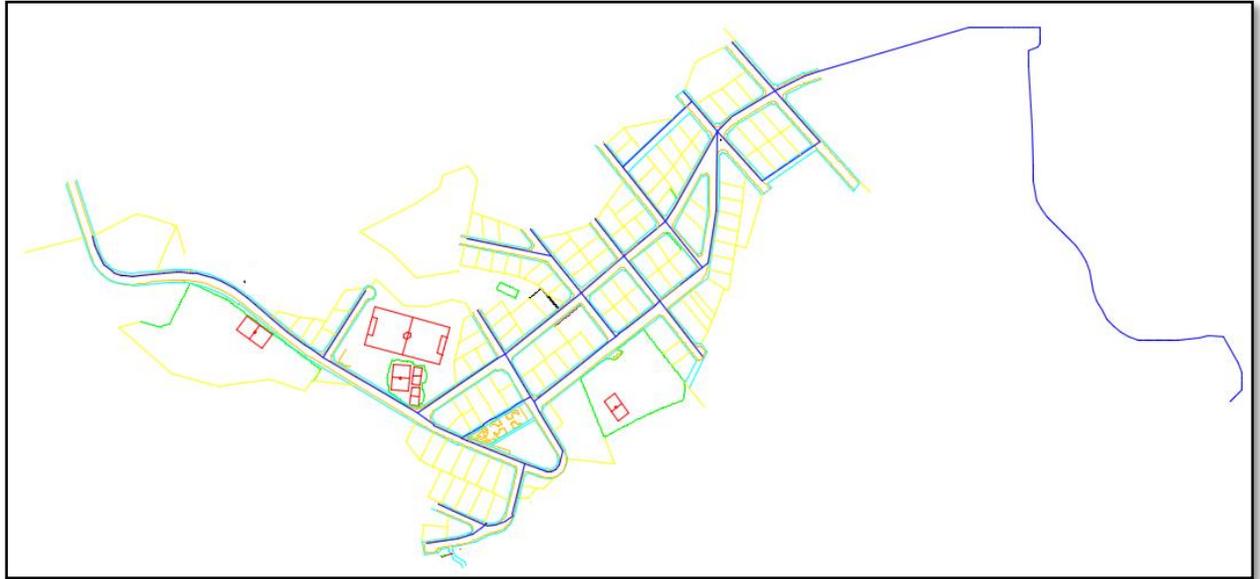


Figura 15: Trazado de Tubería

4.6 Demanda Base

Debido a que no todos los lotes están habitados en este sector rural para el diseño se consideró un promedio de 5 habitantes por lote, estimando el crecimiento de la población actual y a través del software WaterCAD se calculó las demandas base por medio del patrón de consumo de la parroquia y determinados en los polígonos de Thiessen.

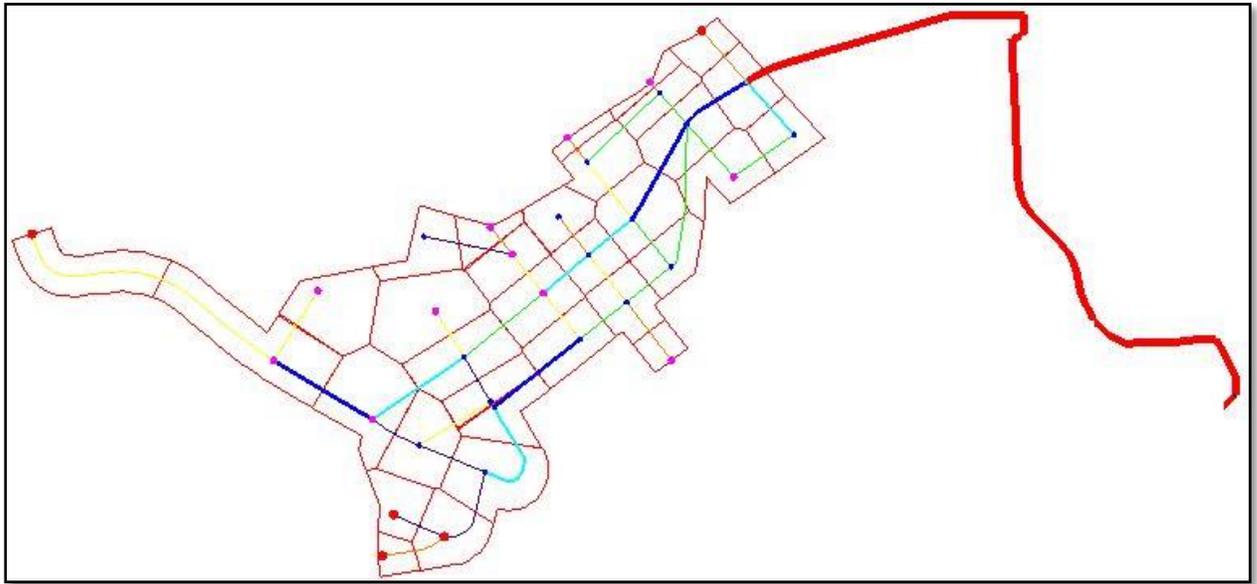


Figura 16: Polígonos de Thiessen en el Sistema de Agua Potable

El patrón de consumo varía según sea la demanda que las personas presenten en determinadas horas del día, a este se lo llamo variación horaria dentro de la simulación, y su gráfica es la siguiente:



Figura 17: Patrón de Consumo

Se puede observar que las horas pico de consumo en la parroquia “El Placer del Toachi” se encuentran desde las seis hasta las nueve de la mañana, que es cuando las personas del lugar salen a sus trabajos y mandan a sus hijos a las diferentes instituciones educativas, observando un coeficiente multiplicador de 1,40. Este patrón se lo obtuvo midiendo los niveles de consumo en el tanque de reserva actual, en intervalos de tiempo de tres horas cada uno.

Tabla 19:
Cálculo de los Coeficientes Multiplicadores

HORA	ALTURA INICIAL Ho	ALTURA FINAL Hf	VARIACIÓN DE ALTURA $\Delta H=H_o-H_f$	ÁREA DE LA RESERVA A	VOLUMEN CONSUMIDO $V_c=\Delta H \cdot A$	COEFICIENTE MULTIPLICADOR $C_o=V_c/CMH$
	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(lt)	(adimensional)
12:00 AM	3,5	3,00	0,50	34,21	17105,97	1,00
3:00 AM		2,92	0,58	34,21	19842,93	1,16
6:00 AM		2,80	0,70	34,21	23948,36	1,40
9:00 AM		3,40	0,10	34,21	3421,19	0,20
12:00 PM		3,29	0,21	34,21	7184,51	0,42
3:00 PM		3,10	0,40	34,21	13684,78	0,80
6:00 PM		3,20	0,30	34,21	10263,58	0,60
9:00 PM		3,10	0,40	34,21	13684,78	0,80
12:00 AM		3,00	0,50	34,21	17105,97	1,00
$\Sigma V_c=$					409859,09	
Consumo Medio Horario CMH= $\Sigma V_c/24$					17077,46	

El nudo 32 es el que mayor demanda presenta en el sistema, apreciándose en la **Figura 18** esto se debe principalmente a que el área de aportación generada por los polígonos de Thiessen es mayor en este punto.

ID	Label	Demand (Base) (L/s)	Pattern (Demand)	Zone
32	J-1	0.08	Variacion Horaria	<None>
33	J-2	0.07	Variacion Horaria	<None>
35	J-3	0.03	Variacion Horaria	<None>
36	J-4	0.06	Variacion Horaria	<None>
41	J-7	0.02	Variacion Horaria	<None>
42	J-8	0.10	Variacion Horaria	<None>
44	J-9	0.08	Variacion Horaria	<None>
45	J-10	0.05	Variacion Horaria	<None>
47	J-11	0.13	Variacion Horaria	<None>
49	J-12	0.08	Variacion Horaria	<None>
50	J-13	0.08	Variacion Horaria	<None>
52	J-14	0.11	Variacion Horaria	<None>
54	J-15	0.14	Variacion Horaria	<None>
56	J-16	0.13	Variacion Horaria	<None>
57	J-17	0.18	Variacion Horaria	<None>
59	J-18	0.19	Variacion Horaria	<None>
61	J-19	0.07	Variacion Horaria	<None>
62	J-20	0.11	Variacion Horaria	<None>
64	J-21	0.09	Variacion Horaria	<None>
65	J-22	0.09	Variacion Horaria	<None>
67	J-23	0.14	Variacion Horaria	<None>
69	J-24	0.11	Variacion Horaria	<None>
75	J-25	0.03	Variacion Horaria	<None>
77	J-26	0.16	Variacion Horaria	<None>
79	J-27	0.10	Variacion Horaria	<None>
80	J-28	0.05	Variacion Horaria	<None>
82	J-29	0.08	Variacion Horaria	<None>
84	J-30	0.11	Variacion Horaria	<None>
90	J-31	0.04	Variacion Horaria	<None>
93	J-32	0.24	Variacion Horaria	<None>
94	J-33	0.15	Variacion Horaria	<None>
97	J-34	0.09	Variacion Horaria	<None>
106	J-35	0.16	Variacion Horaria	<None>

Figura 18: Demanda Base

4.7 Bomba

Se comprobó que la bomba de impulsión existente de 20 HP de potencia está sobredimensionada, debido a que el sistema se modeló con una bomba comercial cuyas características cumplen las necesidades de la red. Estas características son las siguientes:

Tabla 20:
Características de la Bomba

Tipo	SP 46-7	
Caudal	11,55	lt/seg
H total	64,89	m
Potencia	16,39	HP
Corriente Nominal	25	A
Bomba Eta	73,2	%
Motor Eta	82,1	%
Consumo energía	43402	kWh/Año
Precio	5144,09	\$
Prec. + Costes energ.	5315582,79	\$/10 Años

Sin embargo, se concluye que la bomba existente si abastece a todo el sistema sin problema alguno, dejando la misma para la red propuesta.



Figura 19: Bomba Existente

4.8 Tubería

En un principio la red de agua potable propuesta se diseñó considerando que todas las tuberías sean de PVC con diámetros variables, a excepción de la línea de conducción, ya que esta siempre se mantuvo con un diámetro de 110 mm.

Con ayuda del WaterCAD se pudo determinar cuáles son los diámetros efectivos en la distribución, esto a través de la herramienta Darwin Designer, cumpliendo con todos los parámetros de diseño, impuestos para el periodo estático como para el dinámico.

Es importante mencionar que la red de distribución se dividió por sectores, colocando válvulas de compuerta y bocas de fuego, con el propósito de dar mantenimiento a las tuberías sin afectar a toda el sistema por igual, estos accesorios se encuentran indicados en los anexos.

En el modelamiento se mantiene la línea de conducción que existe hoy en día, que es de diámetro 4", ya que esta no presentaba ningún daño o pérdida, solamente se comprobó que sea la correcta para el bombeo y que tenga la presión y velocidad mínima que establece la norma. Esta línea de conducción mencionada anteriormente se observa de color rojo en la siguiente figura.

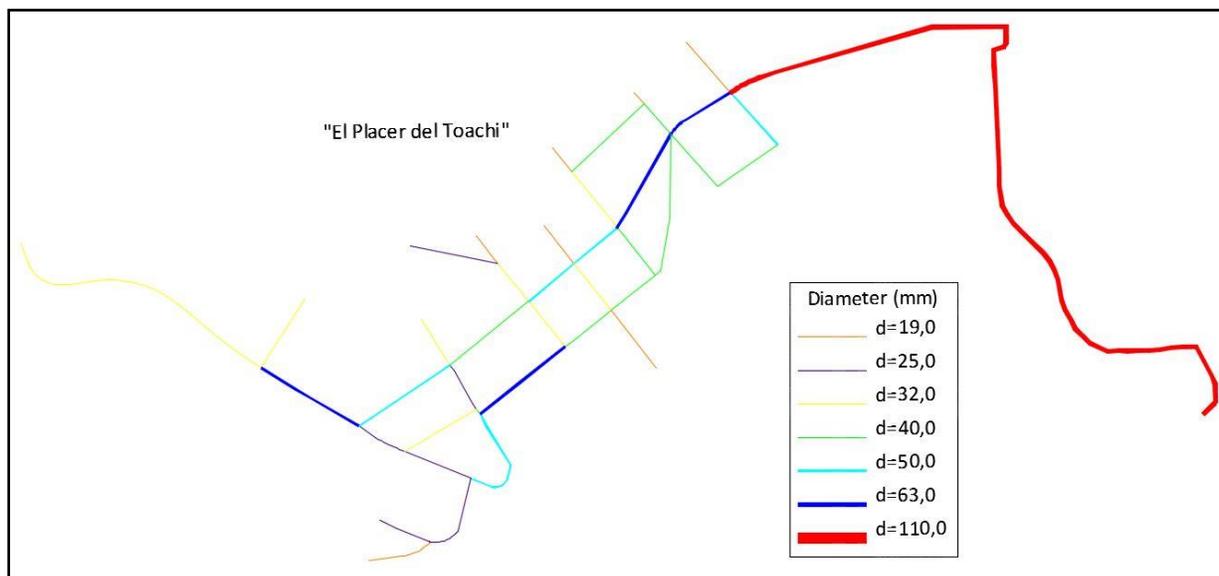


Figura 20: Diámetro de Tubería "El Placer del Toachi"

4.9 Corrida del Sistema Propuesto en Periodo Estático

Únicamente en el periodo estático o también conocido como régimen permanente se valida las condiciones establecidas por nuestra propuesta de diseño, tanto para la velocidad como para la presión que existe en la tubería y en los nudos, usando el caudal máximo horario "QMH". A continuación se presentan los resultados:

3.13.3 Presiones Medidas en el Software

Se condicionó por medio del WaterCAD al sistema de agua potable para que todas las tuberías cumplan con un máximo de 50 metros de columna en todos los nudos.

En la línea de conducción se comprobó que el diámetro de tubería existente de 110 mm sea el adecuado hasta el tanque reservorio y que se llegue al mismo con una presión en metros de columna de agua menor a la establecida en el programa de diseño.

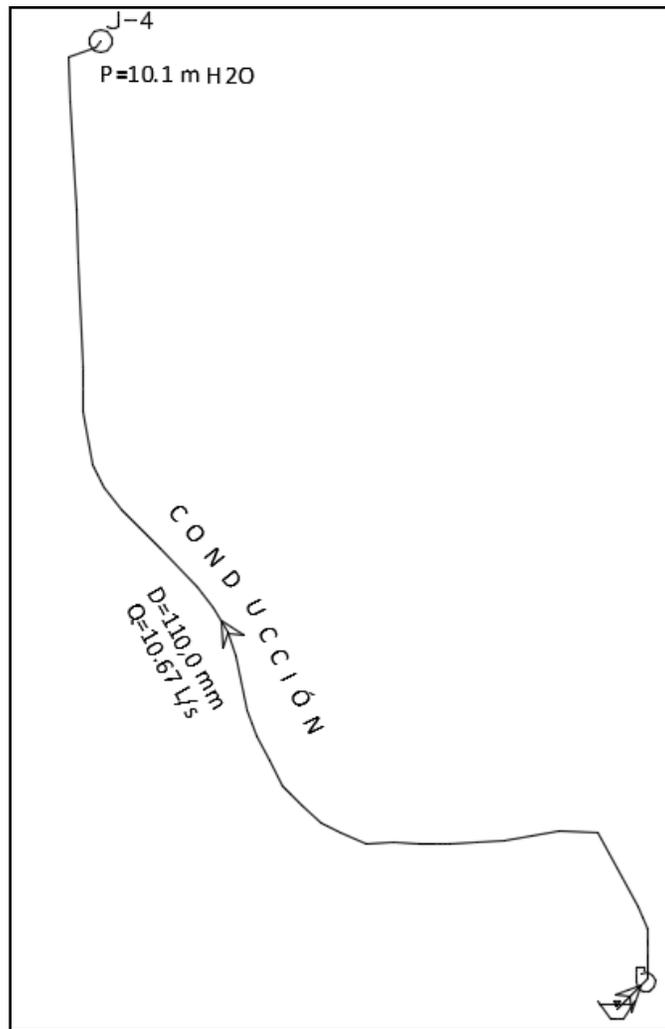


Figura 21: Presión en la Línea de Conducción

En la **Figura 22** se puede identificar que la presión mínima en la distribución es en el nudo 1 siendo de 16,134 mH₂O, debido a que este presenta una menor diferencia de altura entre el tanque reservorio y el nudo en mención, ubicándose a 491,93 msnm entre las calles “D” y la “3”. Así mismo el nudo 25 presenta 42,570 mH₂O, por ello es el de

mayor presión, ya que se encuentra al final de la calle 2 en el punto más bajo de la población a unos 461,32 msnm del nivel del mar.

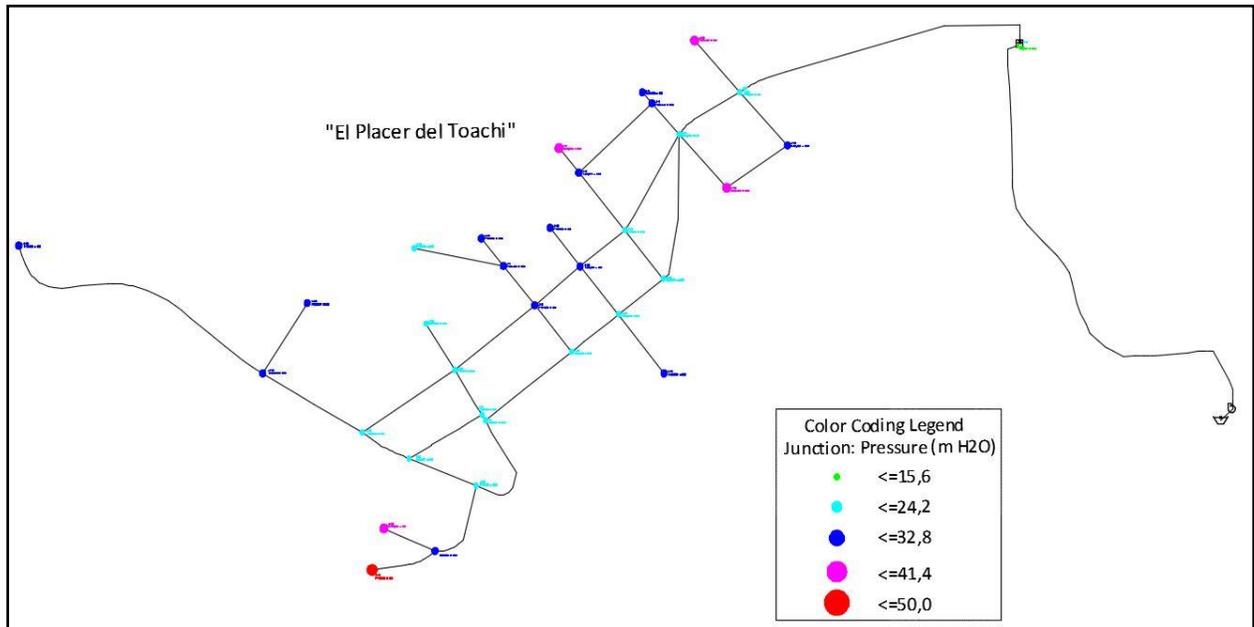


Figura 22: Presiones en la Red de Distribución

3.13.4 Velocidades Medidas en el Software

La velocidad máxima en las tuberías de todo el sistema de agua potable para la parroquia "El Placer del Toachi" es de 1,65 m/s, ubicada entre los nudos 11 y 27, la misma que cumple con la máxima permisible establecida por norma de 2,0 m/s y que fue condicionada en el modelamiento dentro del programa usado.

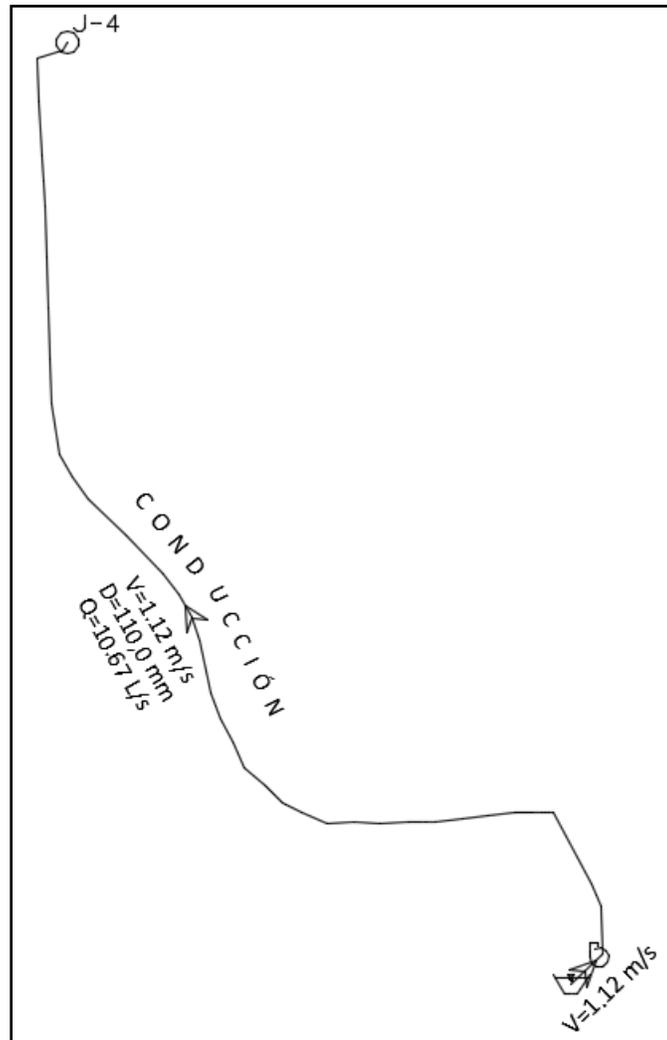


Figura 23: Velocidad en la Línea de Conducción

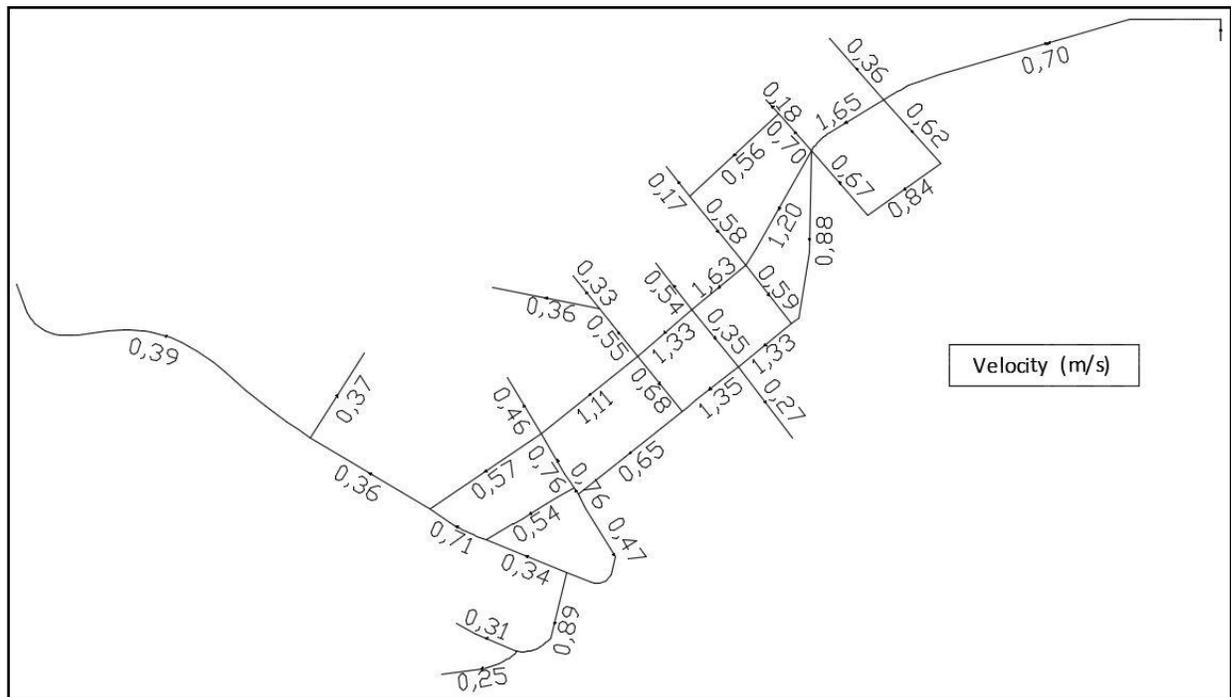


Figura 24: Velocidades en la Red de Distribución

4.10 Corrida del Sistema Propuesto en Periodo Dinámico

Para la corrida del sistema propuesto en periodo extendido o dinámico se modeló toda la red junta, es decir la línea de conducción más la red de distribución, con el fin de analizar el desempeño de todo el sistema funcionando según las demandas en los nudos y verificando algún tipo de anomalía o pérdidas en las diferentes tuberías.

Se puede observar en la **Figura 17** que la parroquia “El Placer del Toachi” presenta un mayor consumo del servicio de agua potable, en horario de 6 AM a 9 AM, obteniendo un coeficiente multiplicador de 1,40 indicado en la **Tabla 19**. Con todo lo antes mencionado se procedió a calcular las presiones y velocidades en todo el sistema.

3.13.5 Presiones Medidas en el Software

Dentro del intervalo de mayor consumo en la parroquia estudiada se encontró como presión máxima 50,192 mH₂O que corresponde a la del nudo 25 ubicado en la calle 2 sobre los 461,32 msnm. Existen otros nudos que sobrepasan los 41,4 mH₂O y estos son los nudos 19, 20, 28 y 35.

Se puede apreciar claramente lo descrito debido a los colores que se indican en la siguiente figura.

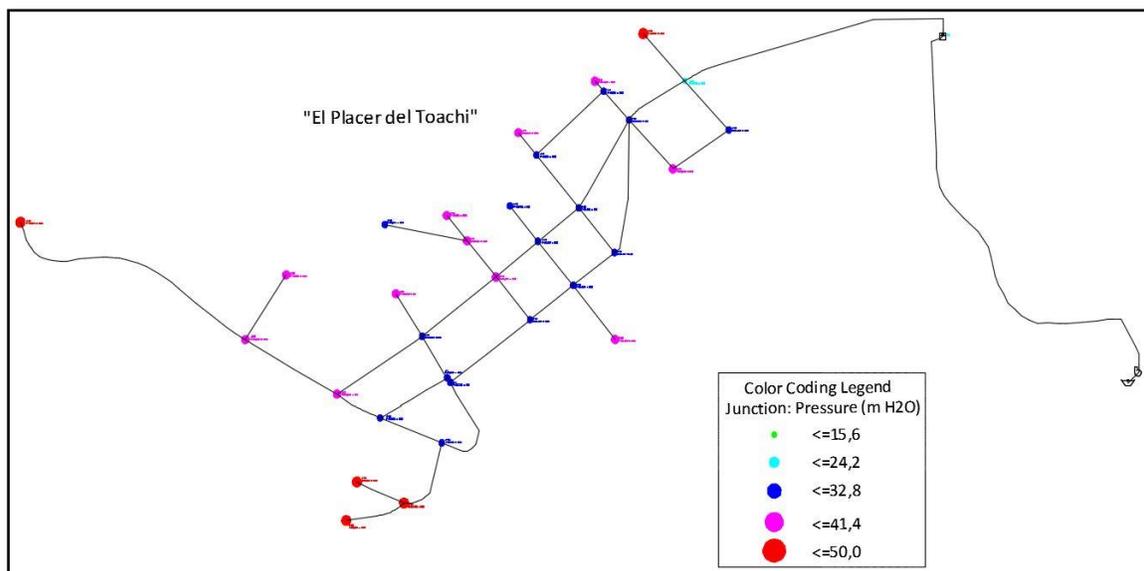


Figura 25: Presiones en Periodo Extendido

3.13.6 Velocidades Medidas en el Software

En la **Figura 26** se observa la velocidad máxima calculada en el modelamiento del sistema, siendo esta de 1,35 m/s y ubicada específicamente en la línea de conducción entre la bomba y el tanque de reserva. Esta velocidad se la aprecia dentro del rango horario de mayor consumo de agua en la zona de estudio.

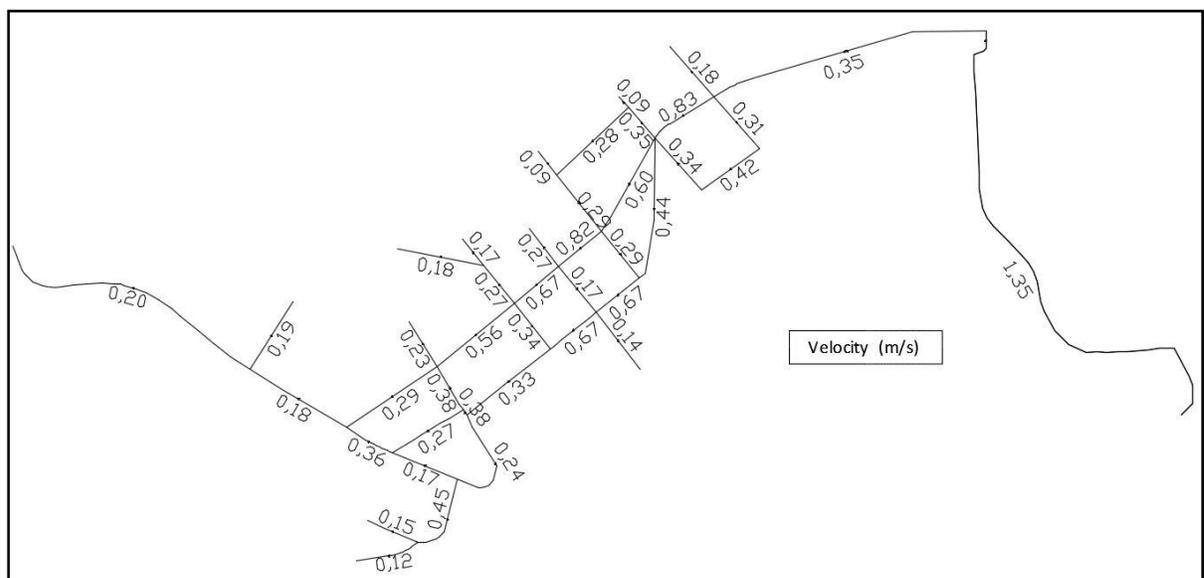


Figura 26: Velocidades en Periodo Extendido

CAPÍTULO V
PRESUPUESTO

Tabla 21:
Presupuesto

PROYECTO: CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA "EL PLACER DEL TOACHI"				
PRESUPUESTO - RED DE DISTRIBUCIÓN				
DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO USD	COSTO TOTAL USD
Replanteo y nivelación zanja	m2	3137,81	1,62	5083,25
Limpieza de terreno, incluye desbroce de maleza	m2	3137,81	1,11	3482,97
Excavación para conformación de zanja	m3	3137,81	3,12	9789,97
Rasanteo de zanja a mano	m2	3137,81	1,66	5208,76
Cama de arena	m3	627,56	20,62	12940,33
Relleno de zanjas (incluye recubrimiento total de tubería con arena e=20 cm)	m3	627,56	4,66	2924,44
Tubería PVC U/Z Ø 110 mm 1,25 MPa (MAT/TRANS/INST) (R)	m	300,97	40,08	12062,88
Tubería PVC U/Z Ø 63 mm 1,25 MPa (MAT/TRANS/INST) (R)	m	399,00	22,96	9161,04
Tubería PVC U/Z Ø 50 mm 1,25 MPa (MAT/TRANS/INST) (R)	m	406,44	14,17	5759,18
Tubería PVC U/Z Ø 40 mm 1,25 MPa (MAT/TRANS/INST) (R)	m	704,19	11,34	7985,51
Tubería PVC U/Z Ø 32 mm 1,25 MPa (MAT/TRANS/INST) (R)	m	742,13	9,07	6731,12
Tubería PVC U/Z Ø 25 mm 1,25 MPa (MAT/TRANS/INST) (R)	m	401,15	7,09	2844,15
				CONTINÚA →

Tubería PVC U/Z Ø 19 mm 1,25 MPa (MAT/TRANS/INST) (R)	m	330,81	5,38	1779,76
TEE PVC U/Z Ø 40 mm 1,00 MPa (MAT/TRANS/INST) (R)	u	3,00	2,29	6,87
TEE PVC U/Z Ø 63 mm x 45° 1,00 MPa (MAT/TRANS/INST) (R)	u	1,00	3,60	3,60
TEE PVC U/Z Ø 25 mm x 45° 1,00 MPa (MAT/TRANS/INST) (R)	u	1,00	1,43	1,43
Codo PVC U/Z Ø 110 mm (R)	u	1,00	5,28	5,28
Codo PVC U/Z Ø 50 mm (R)	u	1,00	1,20	1,20
Codo PVC U/Z Ø 40 mm (R)	u	1,00	0,96	0,96
TEE Reductora PVC U/Z Ø 110 @ 75 mm (R)	u	1,00	6,97	6,97
TEE Reductora PVC U/Z Ø 63 @ 50 mm (R)	u	3,00	3,99	11,97
TEE Reductora PVC U/Z Ø 50 @ 40 mm (R)	u	2,00	3,17	6,34
TEE Reductora PVC U/Z Ø 40 @ 32 mm (R)	u	3,00	2,53	7,59
TEE Reductora PVC U/Z Ø 32 @ 25 mm (R)	u	1,00	2,03	2,03
Cruz Reductora PVC U/Z Ø 110 @ 75 mm (R)	u	1,00	4,80	4,80
Cruz Reductora PVC U/Z Ø 63 @ 50 mm (R)	u	1,00	2,80	2,80
Cruz Reductora PVC U/Z Ø 50 @ 40 mm (R)	u	3,00	2,22	6,66
Cruz Reductora PVC U/Z Ø 40 @ 32 mm (R)	u	1,00	1,78	1,78
Reductor PVC U/Z Ø 110 @ 75 mm (R)	u	2,00	3,10	6,20
Reductor PVC U/Z Ø 75 @ 63 mm (R)	u	4,00	2,50	10,00
Reductor PVC U/Z Ø 63 @ 50 mm (R)	u	9,00	1,95	17,55
Reductor PVC U/Z Ø 50 @ 40 mm (R)	u	16,00	1,54	24,64
				CONTINÚA →

Reductor PVC U/Z Ø 40 @ 32 mm (R)	u	20,00	1,23	24,60
Reductor PVC U/Z Ø 32 @ 25 mm (R)	u	13,00	0,99	12,87
Reductor PVC U/Z Ø 25 @ 19 mm (R)	u	7,00	0,77	5,39
Válvula Compuerta S/V - H,F -L.L Ø 110 mm sello elástico (MAT/TRANS/INST) (R)	u	1,00	358,14	358,14
Unión Gibault Ø 110 mm Universal (MAT/TRANS/INST) (R)	u	2,00	51,64	103,28
Válvula Compuerta S/V - H,F -L.L Ø 63 mm sello elástico (MAT/TRANS/INST) (R)	u	2,00	161,85	323,70
Unión Gibault Ø 63 mm Universal (MAT/TRANS/INST) (R)	u	4,00	39,07	156,28
Válvula Compuerta S/V - H,F -L.L Ø 50 mm sello elástico (MAT/TRANS/INST) (R)	u	1,00	128,45	128,45
Unión Gibault Ø 50 mm Universal (MAT/TRANS/INST) (R)	u	2,00	31,01	62,02
Válvula Compuerta S/V - H,F -L.L Ø 40 mm sello elástico (MAT/TRANS/INST) (R)	u	2,00	102,76	205,52
Unión Gibault Ø 40 mm Universal (MAT/TRANS/INST) (R)	u	4,00	24,81	99,24
Válvula Compuerta S/V - H,F -L.L Ø 32 mm sello elástico (MAT/TRANS/INST) (R)	u	2,00	82,21	164,42
Unión Gibault Ø 32 mm Universal (MAT/TRANS/INST) (R)	u	4,00	19,85	79,40
Válvula Compuerta S/V - H,F -L.L Ø 25 mm sello elástico (MAT/TRANS/INST) (R)	u	1,00	64,23	64,23
Unión Gibault Ø 25 mm Universal (MAT/TRANS/INST) (R)	u	2,00	15,50	31,00
Válvula Compuerta S/V - H,F -L.L Ø 19 mm sello elástico (MAT/TRANS/INST) (R)	u	2,00	48,81	97,62
Unión Gibault Ø 19 mm Universal (MAT/TRANS/INST) (R)	u	4,00	11,78	47,12
Tapón hembra presión PVC U/Z Ø 32 mm (R)	u	3,00	0,61	1,83
Tapón hembra presión PVC U/Z Ø 25 mm (R)	u	2,00	0,48	0,96
Tapón hembra presión PVC U/Z Ø 19 mm (R)	u	7,00	0,36	2,52
				CONTINÚA →

Rótulo de Identificación del Proyecto 2,40 X 1,20 m (ESTRUC. DE MADERA Y LONA)	u	1,00	160,30	160,30
Pasos Peatonales de Madera 1,20 m Ancho	m	20,00	39,27	785,40
Cono de Señalización Vial Fluorescente	u	12,00	34,53	414,36
Señalización (Letreros) (R)	u	12,00	111,78	1341,36
Cinta Reflectiva de Seguridad (Rollo)	u	6,00	23,39	140,34
			SUBTOTAL	90692,39
			12%IVA	10883,09
			TOTAL	101575,48

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La red actual de tuberías construida a base de experiencias y su tipo de captación fueron comprobadas y verificadas para su uso en el funcionamiento adecuado dentro del análisis y diseño del sistema de agua potable, para un periodo de vida de 20 años.
- Gracias al levantamiento topográfico se logró constatar las diferencias altimétricas de la zona de estudio, verificando que la cota del reservorio, que es de 518 msnm, supere a todas las cotas de la red de distribución.
- Se comprobó que la diferencia de altura entre la captación y el tanque reservorio satisface a la característica de una bomba de menor potencia a la existente.
- Del análisis de la calidad del agua se tiene que los valores están por debajo de los permitidos por la norma, lo que significa que no se requiere tratamiento. Sin embargo, se recomienda un tratamiento con hipoclorito de calcio para asegurarnos de una total desinfección.
- La conducción principal fue diseñada con el diámetro de tubería de 4 plg.
- La red de distribución y su análisis hidráulico se desarrolló en el software WaterCAD y esta red posee diámetros variados desde 19 mm hasta tuberías de 110mm.
- En la red se formaron sistemas hidráulicos independientes por medio de 11 válvulas de compuerta y 4 bocas de fuego, con el propósito de dar un

mantenimiento adecuado a la población, para no cortar el suministro de este recurso a toda la parroquia.

- De acuerdo al estudio realizado, el tanque reservorio que se requiere es de 96 m³, por lo que se recomienda seguir utilizando el actual, debido a que este presenta una capacidad de 120 m³.
- La bomba comercial de 16,39 HP que sirvió para el modelamiento del presente trabajo es menor a la existente de 20 HP, debido a esto y por ahorro en el sistema se concluye que la bomba actual está sobredimensionada y sirve tranquilamente para uso de toda la red.

6.2 Recomendaciones

- Periódicamente dar un mantenimiento al tanque reservorio, para eliminar algún tipo de impureza que se genere por el agua captada, de la misma manera chequear que el tanque de hipoclorito nunca se quede sin esta sustancia primordial en el sistema.
- Realizar un análisis de la calidad del agua del Rio Ashotillo al menos una vez al año, para comprobar si existe algún tipo de cambio en las características del recurso hídrico y así dar un tratamiento adecuado a las condiciones presentadas.

Bibliografía

- American Water Works Association. (2002). *Calidad y tratamiento del Agua*. España: McGraw-Hill.
- CPE INEN 005-9-1. (1997). *Código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*. Quito.
- Criollo, J. C. (2015). Abastecimiento de agua potable y su incidencia en la condición sanitaria de los habitantes de la comunidad Shuyo Chico y San Pablo de la parroquia Angamarca, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi. . Ambato, Ambato, Ecuador.
- European Community environment legislation. (1992). *Normativa 98/93. Calidad del Agua 2000*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.
- INEN. (1998). *Calidad del agua. Muestreo y conservación de muestras*. Quito.
- Instituto Geográfico Militar. (escala 1: 50 000). *Carta NIII_B2*.
- Jiménez, J. (2013). Retrieved from <http://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Disenio-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf>
- López, R. (2003). Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillado. In R. López, *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillado* (pp. 292-293). Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

- López, R. A. (2003). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillado*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Moncrieff, R. (1967). *The Chemical Senses*. Leonard Hill.
- Orellana, I. J. (2005). *Ingeniería Sanitaria*.
- Pizzi, N. G. (2007). *Pre-Treatment Field Guide: American Water Works Association*. Estados Unidos: AWWA.
- Plaza, G., & Yépez, H. (1998). *Manual para la mitigación de desastres naturales en sistemas rurales de agua potable*. Quito.
- Rodríguez, P. (2001). *Abastecimiento de Agua*. Oaxaca.
- Romero, M. (2008). Tratamientos utilizados en potabilización de agua. *Boletín electrónico*, 1-12.
- Secretaría del Agua. (1992). *Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural*.
- Tchobanoglous, G. (1985). *Water Quality*. Canadá: Person.
- Torres, V., & Rosales, R. (2002). *Santo Domingo, cantón mágico*. Quito: Centro de Investigación Territorial del Ecuador.