

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS
AMÉRICAS**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

**PARA OPTAR AL GRADO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA
ELECTROMECÁNICA**

**DISEÑO DE SISTEMA MECÁNICO PARA RED DE
DISTRIBUCIÓN DESDE UNA NACIENTE DE AGUA QUE
INCLUYA SISTEMA DE POTABILIZACIÓN**

AUTOR: ADRIÁN GERARDO FONSECA GUTIÉRREZ

TUTOR: ING. GILBERT MORA JIMÉNEZ

SAN JOSÉ, AGOSTO, 2023

Contenido

1. Introducción	7
1.1. Planteamiento del problema.....	7
1.2. Justificación	7
1.3. Objetivos.....	9
1.3.1. Objetivo general	9
1.3.2. Objetivos específicos.....	9
1.4. Resumen.....	10
1.5. Limitaciones.....	11
1.6. Antecedentes	12
2. Marco teórico	19
2.1. Acueducto	20
2.1.1. Captación	20
2.1.2. Líneas de abastecimiento.....	21
2.1.3. Sistema de bombeo.....	21
2.1.4. Válvulas.....	22
2.1.4.1. Válvulas de corte o Aislamiento.....	23
2.1.4.2. Válvula antirretorno.....	23
2.1.4.3. Válvula de alivio.....	23
2.1.4.4. Válvulas especiales.....	23
2.1.5. Golpe de Ariete.....	24
2.1.6. Desinfección	25
2.1.6.1. Métodos Físicos de desinfección	26
2.1.6.2. Métodos Químicos de desinfección.....	27
2.1.7. Pruebas de Control de calidad del agua.....	27
2.1.7.1. Nivel 1.....	27
2.1.7.2. Nivel 2.....	29
2.1.7.3. Nivel 3.....	30
2.2. Población de diseño	32
2.2.1. Población futura.....	32
2.2.1.1. Tasa de Crecimiento aritmético	32
2.2.1.2. Tasa de Crecimiento geométrico	32
2.2.1.3. Tasa de Crecimiento exponencial	32
2.2.2. Periodo de diseño.....	33
2.2.2.1. Obras de captación y toma.....	33
2.2.2.2. Tubería de aducción.....	33
2.2.2.3. Planta potabilizadora.....	33
2.2.2.4. Tanque de almacenamiento.....	34
2.2.2.5. Tubería de conducción.....	34
2.3. Consumo hídrico.....	34
2.3.1. Factores determinantes del consumo hídrico.....	34
2.3.1.1. Temperatura	34
2.3.1.2. Calidad del agua.....	35
2.3.1.3. Características sociales y económicas	35
2.3.1.4. Servicio de alcantarillado.....	35
2.3.1.5. Presión en la red de distribución de agua.....	35

2.3.1.6.	Administración.....	35
2.3.1.7.	Medidores y tarifas	35
2.3.2.	Consumo neto	36
2.3.2.1.	Consumo residencial.....	36
2.3.2.2.	Caudal Máximo Diario (QMD)	36
2.3.2.3.	Consumo máximo horario.....	37
2.3.2.4.	Caudal de incendio.....	37
2.3.2.5.	Caudal de diseño.....	37
2.4.	Red de distribución	37
2.4.1.	Hazen-Williams.....	38
2.4.2.	Carga estática y carga dinámica	39
2.4.3.	Diámetro mínimo de tuberías	39
2.4.4.	Presión interna en tuberías.....	39
2.4.5.	Tuberías y accesorios.....	40
2.4.6.	Pérdidas de carga en el sistema	40
2.4.7.	Sistemas Hidroneumáticos	42
2.4.8.	Bombas	42
2.5.	Alimentación eléctrica	43
2.5.1.	Voltaje	44
2.5.2.	Corriente eléctrica.....	44
2.5.3.	Conductores eléctricos.....	44
2.5.4.	Cortocircuito.....	45
2.5.5.	Protecciones eléctricas.....	45
2.5.5.1.	Fusibles	45
2.5.5.2.	Interruptores.....	45
2.5.5.3.	Disyuntores o “breakers”	46
2.6.	Mantenimiento	46
2.6.1.	Mantenimiento correctivo.....	46
2.6.2.	Mantenimiento correctivo.....	47
2.6.3.	Mantenimiento preventivo.....	47
2.6.4.	Mantenimiento predictivo.....	47
2.7.	Normativa aplicable	47
3.	Marco metodológico	49
3.1.	Enfoque de la investigación	49
3.1.1.	Enfoque cuantitativo.....	49
3.1.2.	Instrumentos	54
4.	Análisis de resultados	56
4.1.	Volumen.....	56
4.1.1.	Tanque de captación	56
4.1.2.	Tanque distribución.....	57
4.2.	Consumo hidráulico	59
4.3.	Rediseño.....	70
4.3.1.	Sistema hidroneumático	76
4.4.	Consumo eléctrico	79
4.5.	Calidad del agua.....	81
4.5.1.	Análisis físico-químico y microbiológico	81

4.5.2. Método de potabilización	82
4.6. Plan de mantenimiento	84
4.7. Costos	88
4.7.1. Materiales de instalación	88
4.7.2. Puesta en marcha	90
4.7.3. Equipos	90
4.7.4. Operación	90
5. Propuesta	92
5.1. Distribución	92
5.2. Potabilización	94
6. Conclusiones y recomendaciones	95
6.1. Conclusiones	95
6.2. Recomendaciones	97
7. Bibliografía	98
8. Anexos	102
Anexo 1. Ficha Técnica tanque de distribución	102
Anexo 2. Ficha Técnica tubería	103
Anexo 3. Resultados análisis físico-químicos y microbiológicos	104
Anexo 4. Ficha Técnica Sistema Potabilización	106
Anexo 5. Ficha técnica pastillas de hipoclorito de calcio	107
Anexo 6. Ficha Técnica Bomba de sistema Hidroneumático	109
Anexo 7. Ficha Técnica Tanque	111
Anexo 8. Cotizaciones	112

Tabla de Figuras

Figura 1 Esquema general de un sistema de acueducto	20
Figura 2 Recurrencia de pruebas de Nivel 1 según población dotada	28
Figura 3 Parámetros de aceptación pruebas Nivel 1	28
Figura 4 Parámetros de aceptación pruebas Nivel 1	29
Figura 5 Recurrencia de pruebas de Nivel 2 y 3 según población dotada	30
Figura 6 Parámetros de aceptación pruebas Nivel 2	31
Figura 7 Parámetros de aceptación pruebas Nivel 3	31
Figura 8 Arranques por hora para bombas de sistema hidroneumático	42
Figura 9 Potencia absorbida por las bombas.....	43
Figura 10 Calculo de Volumen para el tanque de captación	57
Figura 11 Dimensiones tanque de distribución.....	58
Figura 12 Ubicación Geográfica y distribución.....	60
Figura 13 Tabla 6.1 Código Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones.....	63
Figura 14 Tabla 6.4 Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones.....	63
Figura 15 Tabla 6.7 Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones.....	66
Figura 16 Artículo 6.7.2-3 Dimensionamiento CIHS	78
Figura 17 Consumo de corriente eléctrica de la bomba.....	80
Figura 18 Consumo tensión eléctrica de la bomba	80
Figura 16 Resultados de Análisis Físico-Químicos	82
Figura 20 Resultados de Análisis Microbiológicos	82
Figura 21 Tabla a.1: Tabla comparativa de ventajas y desventajas de los distintos métodos que utilizan cloro y derivados, Guía para la Selección de Sistema de Desinfección	83
Figura 22 Funcionamiento sistema clorador Accu-Tab.....	84

Índice de Tablas

Tabla 1 Coeficiente de rugosidad Hazen-Williams	39
Tabla 2 Resistividad de materiales comunes	44
Tabla 3 Definiciones según objetivo.....	50
Tabla 4 Mediciones de Caudal (Q) naciente.....	57
Tabla 5 Mediciones de Caudal (Q) de la bomba.....	58
Tabla 6 Nomenclatura según tramos de tubería.....	59
Tabla 7 Cálculo de caudales de diseño	61
Tabla 8 Dimensiones de Tubería	64
Tabla 9 Cálculo de Diámetro Interno Real	65
Tabla 10 Cálculo de coeficiente K para accesorios	67
Tabla 11 Cálculos para determinar Ruta Crítica.....	69
Tabla 12 Definición de ruta crítica	70
Tabla 13 Cálculo de caudales de rediseño	71
Tabla 14 Cálculo de Diámetro Interno Real en Rediseño.....	73
Tabla 15 Cálculo de coeficiente K para accesorios en Rediseño.....	74
Tabla 16 Cálculos para determinar Presión Estática en cada punto de consumo	75
Tabla 17 Resumen de presiones en cada punto de consumo	76
Tabla 18 Cálculos para determinar Presión Estática en cada punto de consumo con sistema hidroneumático	78
Tabla 19 Presión de alimentación en los puntos 1, 2 y 3 después de alcanzar la presión mínima requerida con sistema hidroneumático.....	79
Tabla 20 Actividades Semanales de Mantenimiento Sistema Bombeo.....	85
Tabla 21 Actividades Trimestrales de Mantenimiento Sistema Bombeo.....	86
Tabla 22 Actividades Anuales de Mantenimiento Sistema Bombeo.....	87
Tabla 23 Diámetros y largos por sección.....	88
Tabla 24 Cálculo cantidad de tubos requerida.....	89
Tabla 25 Costo Materiales de instalación	89
Tabla 26 Costo de Puesta en marcha	90
Tabla 27 Tabla Costos Equipos	90
Tabla 28 Tabla Costos operación del sistema.....	90

Tabla 29 Diámetros de tubería por sección..... 93

1. Introducción

1.1. Planteamiento del problema

Debido al deterioro por el paso de los años, la tubería de abastecimiento de agua, con la cual un grupo de 10 casas de habitación se alimenta desde una naciente, presenta serios desperfectos que, a su vez sumado a la topografía del lugar, genera pérdidas de presión y fugas.

El actual sistema hidráulico, implementado empíricamente, carece de estudios y calculaciones que justifiquen el correcto funcionamiento de este; es por esa razón que se considera conveniente estructurar dichos estudios y cálculos matemáticos, con el fin de esquematizar un diseño que se adecúe a las diferentes características del terreno y al consumo diario presentado. Tomando en cuenta estas razones, es que se plantea lo siguiente:

¿Cuál es el mejor diseño para un sistema mecánico, basado en la normativa vigente, que cumpla con las buenas prácticas de ingeniería, cuyo fin sea abastecer y potabilizar agua proveniente de una naciente, con el que se permita el suministro a lo largo de todo el recorrido de este, en la comunidad de San Ramón de La Unión, Cartago?

1.2. Justificación

Los antepasados que habitaron la propiedad localizada en San Ramón de La Unión, provincia de Cartago, a pesar de la baja escolaridad presentada, desarrollaron sistemas que aún en la actualidad se mantienen en funcionamiento. Sin embargo, en el caso puntual del sistema hidráulico que provee de agua a esta comunidad, la escalabilidad poblacional, el mantenimiento preventivo y en varios otros aspectos, el poco acceso a la tecnología presentada en el momento de desarrollar este sistema, generan hoy en día vicisitudes que, en la sumatoria final de la búsqueda de la solución, llevan a erogaciones considerables de dinero, las cuales no terminan de resolver el problema presentado. Debido a esta situación, los habitantes de esta localidad manifiestan la necesidad de contar con los estudios pertinentes, además de la elaboración de un diseño apropiado, con los cuales, los hogares abastecidos por la naciente de agua presente en este terreno, consigan el correcto suministro del líquido vital, cuyo acceso fue declarado derecho humano bajo la Ley N°9849.

A su vez, el sistema actual, con las deficiencias de funcionamiento debido a su antigüedad y a la topografía presente en el terreno en forma de V, donde la naciente se encuentra en el punto de menor altura; sumado a la necesidad de dotar de agua a hogares presentes en ambas pendientes del terreno, es que se toma ventaja de una condición natural aprovechable, como lo es la gravedad; surgiendo así la oportunidad de llevar a cabo la realización del diseño del sistema, por medio de los

conocimientos obtenidos a lo largo del estudio de la carrera de Ingeniería Electromecánica, para el abastecimiento del preciado líquido a los hogares que lo requieren.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un sistema mecánico, basado en la normativa vigente, que cumpla con las buenas prácticas de ingeniería, con el fin de abastecer y potabilizar agua proveniente de una naciente con el que se permita el suministro a lo largo de todo el recorrido de este, en la comunidad de San Ramón de La Unión, Cartago.

1.3.2. Objetivos específicos

- Definir el sistema de abastecimiento ideal, por medio de cálculos hidráulicos para garantizar la distribución de agua y el aprovechamiento de la instalación existente.
- Definir el sistema de potabilización adecuado, mediante una evaluación de las tecnologías existentes, utilizando los parámetros de uso y mantenimiento para garantizar la potabilidad del recurso hídrico para el consumo humano.
- Generar un plan de mantenimiento preventivo con base en el análisis de las descripciones técnicas y tiempo de uso del sistema de bombeo; que busque un continuo funcionamiento y una prolongación de la vida útil de los equipos instalados.
- Evaluar el estado y diseño del actual sistema de alimentación eléctrica para el sistema de bombeo, con base en el código eléctrico vigente, con el fin de salvaguardar la integridad física de las personas que se vean involucradas en el uso y mantenimiento del sistema y del sistema propiamente dicho.
- Estimar el costo de adquisición, instalación, puesta en marcha y operación del sistema de abastecimiento con base en el diseño propuesto, para una posible implementación de este.

1.4. Resumen

El agua constituye un importante elemento en la vida humana. En algún momento se llegó a considerar como un recurso renovable; sin embargo, con el transcurrir de los años encontramos estudios que demuestran la deficiencia que se presentará en el mundo para el abastecimiento de dicho líquido vital; de manera que las diversas fuentes que al día de hoy se presentan, deben ser utilizadas eficientemente.

Mediante este trabajo, se busca encontrar el mejor diseño posible para el sistema de distribución de agua abastecido por una naciente presente en una propiedad en San Ramón de La Unión, Cartago, la cual presenta un diseño realizado empíricamente. Debido a la topografía del lugar, en forma de V, donde la naciente se encuentra en el punto más bajo de la propiedad, es que se cuenta con un sistema híbrido de abastecimiento por medio de una bomba que llena un tanque ubicado en uno de los puntos más altos de la propiedad, el cual a su vez abastece a los puntos de consumo por medio de la gravedad. A través de este trabajo, aplicando las Normativas vigentes, además de los diferentes cálculos desarrollados hasta este momento, es lo que sirve de guía para lograr realizar el mejor diseño posible.

La presencia de puntos de consumo en la pendiente antepuesta a la ubicación del tanque cisterna, presenta un gran desafío, ya que se dan constantes pérdidas de presión en dichos puntos de consumo debido al consumo que tienen las casas que se encuentran previo a este punto, lo que lleva como consecuencia a tener desabastecimiento del líquido en muchas ocasiones y, por consiguiente, a tener que detener labores en las que se hace uso del agua. Por lo tanto, el diseño debe considerar esta situación, con el fin de alcanzar una solución que permita un abastecimiento estable a lo largo de su recorrido.

La calidad del agua prevista para consumo humano es un factor que se debe tomar en cuenta; es por esta razón que se complementa al diseño realizado, para incorporar un sistema de potabilización que se adapte a las necesidades de consumo del esquema hidráulico diseñado.

1.5.Limitaciones

En todo proyecto se cuenta con situaciones que representan un desafío, tanto para el diseñador como para el ejecutor, algunas pueden llegar a ser solucionadas, otras representan un límite para el proyecto. Es por ello que a continuación se describen las limitaciones presentes en este trabajo:

- El presupuesto no definido es un rubro relevante a tener en consideración, ya que, al ser un grupo limitado de usuarios, un costo elevado haría que se deban buscar medios de financiamiento.
- Las construcciones existentes alrededor del punto de salida de la naciente, no permiten tener un espacio completamente apto.

1.6. Antecedentes

INSTITUCIÓN: Universidad Internacional de las Américas, UIA; Costa Rica.

TÍTULO: Evaluación y diseño de un plan de mejoras del sistema de abastecimiento de agua potable por gravedad de una pequeña comunidad de El Llano de Alajuelita.

AUTOR: Ricardo Barboza Salazar

FECHA: Mayo, 2021

Bajo este trabajo de investigación, realizado como Trabajo Final de Graduación, se identifica la problemática que presenta una pequeña comunidad con el abastecimiento del agua. Este título, inicialmente provee el apartado “2.2.6 Tanques de almacenamiento”, la manera en que los volúmenes de regulación de consumo, reserva para incendios, de reserva por interrupciones y total de almacenamiento, deben ser calculados, aportando así una valiosa matriz, la cual servirá de base para el presente trabajo.

Cabe resaltar que dentro este trabajo, se establece un plan de mantenimiento preventivo específico para el tanque de almacenamiento, el mismo es de gran utilidad para este trabajo, ya que permite establecer una guía, con la cual se identifican las principales actividades para un funcionamiento correcto del tanque, además de la periodicidad con la que dichas actividades deben ser llevadas a cabo.

INSTITUCIÓN: Universidad Internacional de las Américas, UIA; Costa Rica.

TÍTULO: Rediseño y automatización del sistema de bombeo de agua potable de CEDES don Bosco.

AUTOR: Luis Antonio Chacón Sandoval

FECHA: Agosto, 2022

Dentro de la totalidad de este trabajo, que hace referencia al sistema de bombeo utilizado en el Colegio CEDES don Bosco, ubicado en Concepción Arriba de Alajuelita, donde para dicha ubicación se presenta la limitante de la disminución en el abastecimiento de agua potable, llevando a cabo a lo largo de los objetivos planteados una evaluación de la capacidad instalada al momento de la realización de este. El aporte puntal que se extrae, se encuentra en el capítulo IV – Análisis de Datos, específicamente en el apartado “Caudal entregado por las bombas instaladas”, haciendo uso de la curva característica, agregando el valor calculado por la fórmula correspondiente a la presión entregada por el sistema de bombeo, además de las especificaciones de las bombas, permite encontrar el caudal Q , que el sistema de bombeo aporta al esquema total de distribución dentro del

colegio, permitiendo identificar en el caso particular de este trabajo, la manera en que se deberá calcular el caudal entregado por el sistema de bombeo con que se alimenta el tanque cisterna.

INSTITUCIÓN: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, AyA.

TÍTULO: Estimación de consumo de agua potable en una casa.

FECHA: Agosto, 2010

Por medio del documento publicado por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, se establece el consumo estimado para un hogar, desglosando los datos tanto por individuo como por un grupo familiar de 5 miembros, los mismos son establecidos en un periodo diario. Es de suma relevancia los datos aquí recopilados, ya que permiten ser utilizados en este trabajo con el fin de llevar a cabo la estimación de consumo por hogar.

INSTITUCIÓN: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

TÍTULO: Guía didáctica para la gestión de la calidad de agua potable en acueductos rurales.

AUTOR: Ph.D. Luis Castillo Argüello

FECHA: 2017

Mediante esta guía se establece la manera adecuada para la toma de muestras, con el fin de ser utilizadas para las diferentes evaluaciones que se requieren establecer a un acueducto. Para el alcance del trabajo aquí desarrollado, es de suma utilidad lo descrito para la toma de muestras para los análisis microbiológicos, con el fin de establecer un plan de muestreo que permita tener la seguridad de que el agua consumida se encuentra en condiciones óptimas para el consumo humano.

Ya que la calidad del agua a ser utilizada en consumo humano es de suma importancia, esta guía sirve de base para la toma de muestras del agua que actualmente se provee a los consumidores.

INSTITUCIÓN: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

TÍTULO: Propuesta de diseño de sistema hidráulico para el abastecimiento de agua potable y agua de lluvia para el centro educativo La Palma.

AUTOR: Pablo Rojas Nielsen

FECHA: 2016

El autor identifica las posibles líneas de ahorro en el diseño realizado para el centro educativo La Palma, en el pacífico sur del país. Mediante el acoplamiento de un tanque de recolección de aguas llovidas para la utilización en inodoros, provee un ahorro del 50% en la factura anual por concepto de agua potable. Es importante resaltar que, como parte de una de las conclusiones del autor, el uso de accesorios hidráulicamente eficientes, únicamente sin el uso de tanque de recolección de aguas

llovidas, tales como inodoros y aireadores, establecería un ahorro del 56.11% en la factura anual presentada por el centro educativo. Por lo que, para efectos del presente trabajo, es importante identificar las virtudes de estos elementos.

INSTITUCIÓN: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

TÍTULO: Diseño de un sistema de conducción para el abastecimiento de agua potable para la comunidad La Enseñanza, en el distrito de Capellades del cantón de Alvarado, Cartago.

AUTOR: Keylor Fabián Núñez Marín

FECHA: 2021

Este título presenta el diseño del sistema de conducción de agua potable realizado en la comunidad de La Enseñanza, Alvarado, Cartago; es un diseño con el que se busca independizar el abastecimiento que, al momento de realizar dicho trabajo, se abastecía de un acueducto que por razones sismológicas y de clima, podría llegar a presentar serios inconvenientes de desabastecimiento para dicha comunidad. Es así que se logra identificar que, como parte del proceso de recolección de datos, son utilizadas las fórmulas para el cálculo del caudal de diseño, tomando como base el cálculo de los caudales de máximo diario y de incendio, utilizando la sumatoria de ambos valores se obtiene el valor de la variable del caudal de diseño.

$$QMD = FMD \times Cm \times Pf \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

QMD = Caudal máximo diario (l/d)

Cm = Consumo poblacional (l/p/d)

Pf = Población futura (p)

FMD = Factor Máximo Diario, establecido por CFIA, 2017.

$$Qd = QMD + QI \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde =

Qd = Caudal de diseño (l/s)

QMD = Caudal Máximo Diario (l/s)

QI = Caudal de Incendio (l/s), establecido por CFIA, 2017

INSTITUCIÓN: Universidad Católica, Colombia.

TÍTULO: Diagnóstico del estado actual y proyectado a un periodo de diseño para la red de acueducto de la zona urbana del municipio de Madrid, Cundinamarca.

AUTOR: Andrés Sebastián Martínez Quevedo.

FECHA: 2016

La base de este trabajo se presenta en la evaluación del estado al momento de realizar el estudio en el año 2016, del abastecimiento realizado por el acueducto del Municipio de Madrid, Cundinamarca; con una comparativa a los datos de población proyectados para el año 2046. El acueducto es alimentado por 3 frentes: un pozo principal que alimenta una tubería de 8", un caudal proveniente desde Bogotá, en tubería de 14" y un pozo ubicado en el barrio Lusitana que abastece una tubería de 10". Estas 3 fuentes de alimentación son conducidas a un tanque ubicado en el cerro Casa Blanca, el cual se encuentra dividido en 2, un lado del tanque provee del líquido vital por gravedad, a la zona norte y la zona sur del casco urbano. Para el cálculo de la población en el momento presente de la evaluación se realiza por medio del método geométrico, ya que no se cuenta con un censo que establezca la cantidad de población de esta localidad:

$$Pf = P_{uc} * (1 + r)^{Tf - Tuc} \text{ (Ecuación 3)}$$

Donde=

Pf= Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc= Población correspondiente a la proyección de habitantes.

R = Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

Tuc= Año correspondiente al último año proyectado.

Tf= Año al cual se quiere proyectar la información.

Este método permite ser utilizado en poblaciones con un nivel importante de actividad económica, como lo es la zona en evaluación. De igual manera para la comparativa, se realiza la proyección poblacional al año 2046, bajo el mismo método, ya que permite tener una uniformidad de cálculos.

INSTITUCIÓN: Universidad Nacional Autónoma de México, México.

TÍTULO: Diagnóstico de la infraestructura hidráulica de una red de abastecimiento de agua potable.

AUTOR: Guillermo Alberto Montero Medel.

FECHA: 2016

Mediante el estudio realizado al acueducto ubicado en el Municipio de Jiutepec, estado de Morelos; se determina inicialmente que el volumen consumido por el pozo principal de alimentación del acueducto, tuvo un incremento de un 22% en el año 2014, con respecto al año 2013, llevando a la necesidad de ejercer un periodo de bombeo adicional, a los dos periodos de una hora y cuarenta minutos con los que ya contaban por día, esto se debe al acelerado crecimiento en centros de población que presentó durante este periodo la ubicación en estudio. Se logra evidenciar que el acueducto no cuenta con los estándares mínimos requeridos por la legislación mexicana para el consumo humano. Además, fue posible identificar que a lo largo de la tubería de distribución, se encuentran fugas, lo que imposibilita que se dé una distribución eficiente por medio de este acueducto. El autor dentro de sus recomendaciones establece que es necesario la colocación de manómetros que midan la presión, con el fin de facilitar la localización de tramos de tubería en el acueducto que generan fugas.

La anterior recomendación sirve como base para realizar un efectivo monitoreo, en pos de utilizar efectivamente el caudal provisto.

INSTITUCIÓN: Universidad Nacional Autónoma de México, México.

TÍTULO: Análisis del funcionamiento hidráulico del acueducto presa arcediano, Guadalajara, México.

AUTOR: Roberto Carlos Vargas Raymundo.

FECHA: 2006

El autor realiza un análisis profundo de los precedentes, el estado actual y lo que sería un posible sistema de bombeo, que permita alcanzar la demanda al momento del estudio realizado, ya que presenta una deficiencia de suministro de aproximadamente 3.5 m³/s. Partiendo de este hecho, realiza el comparativo entre la curva característica de la bomba con la que alimenta el acueducto, con la curva del sistema, obteniendo así el punto de operación de dicho sistema. Cabe señalar que, en este análisis realizado por el autor, se establece el punto de operación para el acueducto operado

por bombas en simultáneo, por lo que, para usos prácticos del presente trabajo, se toma únicamente como referencia el punto de operación establecido por una única bomba en funcionamiento.

INSTITUCIÓN: Universitat de les Illes Balears, España.

TÍTULO: Latinoamérica y el agua potable: poder en el presente, dominio en el futuro. El caso del Acuífero Guaraní.

AUTOR: Dra. Renee Isabel Mengo.

FECHA: 2008

La Doctora Mengo permite encontrar en su artículo una gran cantidad de datos relevantes, entre los cuales se dejan ver la escasez que se prevé alcanzar para el año 2050, en la cual la demanda global será de un 56% mayor que el suministro. Es aquí donde recae la importancia de dicho artículo para el presente trabajo. Con un total de dos millones de personas falleciendo cada día, según cifras de las Naciones Unidas por causas asociadas a la falta de agua potable, es imprescindible para el objetivo de este trabajo, saber que se cuenta con un beneficio sumamente valioso, ya que solamente 2.5% del agua del planeta es dulce y menos de la mitad se encuentra disponible para su uso, siendo así que solamente un 0.03% es viable para el consumo humano.

INSTITUCIÓN: Universidad de La Salle, Colombia.

TÍTULO: Análisis de la vulnerabilidad en el sistema de abastecimiento de agua en el corregimiento de Cotoprix.

AUTOR: José Javier Mejía Rojas y Alexander Merchán Charry.

FECHA: 2017

Los autores realizan este trabajo con el fin de establecer una evaluación actualizada, además de una proyección al año 2041, para el sistema de abastecimiento de agua en el corregimiento de Cotoprix, La Guajira, Colombia. Encuentran serios inconvenientes como tomas realizadas empíricamente e ilegales, que contribuyen a la disminución del caudal de abastecimiento que presenta el sistema de abastecimiento, debido a razones climatológicas. Es relevante mencionar que estas tomas son realizadas aguas arriba del sistema de potabilización establecido, por lo cual estas aguas crudas no se encuentran aptas para el consumo humano. Se evidencia, además, que el ente administrador del sistema no cuenta con datos estadísticos históricos de consumo y demanda, lo cual dificulta el realizar proyecciones precisas para un análisis de vulnerabilidad futura. A su vez, lo autores concluyen que el poco mantenimiento devela altos índices de vulnerabilidad en el sistema,

por lo cual hacen la recomendación de realizar un estudio técnico de mayor profundidad y modificación del actual diseño; para que se garantice un correcto abastecimiento del recurso hídrico.

INSTITUCIÓN: Universidad de La Salle, Colombia.

TÍTULO: Propuesta de un plan de seguridad en el sistema de abastecimiento de agua potable en la vereda Las Palmas del municipio de La Capilla- Boyacá.

AUTOR: Julián David Sesquilé Bogotá y Nataly Catherine Nieto Serrano.

FECHA: 2022

Los datos encontrados por los estudios realizados a la calidad del agua en este trabajo, dejan una gran inquietud a los autores, ya que se logra determinar que de las diversas mediciones realizadas en el sector rural del municipio La Capilla, se encuentran casi en la totalidad de pruebas realizadas, datos fuera de los parámetros permitidos. Según los parámetros evaluados por el Índice de Riesgo de Calidad del Agua IRCA, en la legislación colombiana, establecen que las muestras presentadas no es agua apta para el consumo humano y requiere de la gestión directa del ente que brinda el servicio, presentando datos fuera de los rangos aceptables los siguientes puntos evaluados: Coliformes totales, Color aparente, E.coli y Turbiedad. Además, se muestra en cuáles meses del año se obtuvieron las muestras fuera de rango, teniendo así que, durante los meses de junio, julio y agosto, se obtuvieron los valores más elevados por año, tomando como base estudios realizados desde el 2012 hasta el año 2019. Estos datos revelan una realidad preocupante, las muertes asociadas a enfermedades por causas relacionadas al consumo de agua, son el segundo factor asociado a la mortalidad en el lugar del estudio realizado; con índice de 60.98 muertes por cada 100 000 habitantes. Explorando las razones que llevan a tener estas cifras, se identifica la existencia de obras de vital importancia que fueron abandonadas, por lo cual gran parte de la población recurre a utilizar para el consumo aguas de lluvia sin ser tratadas para el consumo humano.

2. Marco teórico

Los acuíferos constituyen un patrimonio para el desarrollo futuro de Costa Rica, la calidad y cantidad de agua que surten para consumo doméstico depende del grado de deterioro de las zonas de recarga. Cuatro zonas concentran la mayor parte de la demanda: la GAM, Guanacaste, Puntarenas y Limón. El 50% de los suministros de agua para consumo humano de estas zonas proviene de fuentes subterráneas. (OPS 2004)

Según el último informe del Programa Estado de la Nación (2022), correspondiente al año 2021, el volumen anual de explotación de agua por medio de pozos corresponde a un valor de 12 285 095 m³, representando un incremento del 100% con respecto al año 2020, en cuanto a la población que recibe agua de calidad potable se tuvo un incremento de dos puntos porcentuales, para un valor del 96%, siendo este una cifra récord, el más alto alcanzado en la historia del país; sin embargo, la población que recibe agua sometida a control de calidad tuvo una disminución sustancial, pasando de un valor del 84% a 77%.

El sistema de acueducto es el

conjunto de fuentes de recurso hídrico y de la infraestructura y equipamiento para su captación, potabilización y distribución, lo cual incluye: plantas potabilizadoras, tanques de almacenamiento, líneas de aducción y conducción, estaciones de bombeo, pozos, redes distribución, hidrantes, hidrómetros y demás elementos necesarios para el suministro de agua potable a un núcleo de población. (AyA, 2017)

2.1. Acueducto

El conjunto de instalaciones que conducen el agua desde su captación en la fuente de abastecimiento hasta la acometida domiciliar en el punto de empate con la instalación interna del predio a suministrar el servicio de agua potable (Ramírez, 2016). Este conjunto está constituido por diferentes elementos que procederemos a definir a continuación.

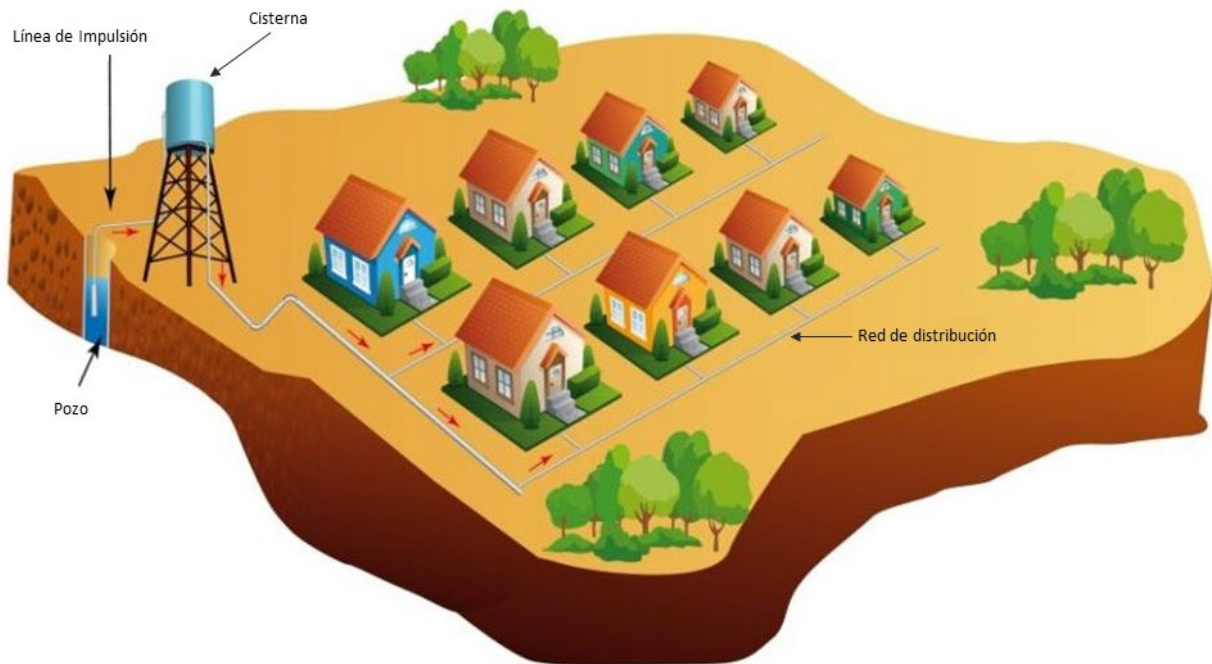


Figura 1 Esquema general de un sistema de acueducto

2.1.1. Captación

Conjunto de infraestructura, equipamiento y demás elementos necesarios para obtener el agua de una fuente de abastecimiento superficial o subterránea para un sistema de agua potable (AyA, 2017).

Una fuente de agua superficial se define como aquellas que se mantienen sobre la tierra y en contacto con la atmósfera, es decir, en la superficie. Para identificarlas fácilmente podemos decir que son aquellas que se pueden ver a simple vista o que no están bajo tierra. Estos cuerpos de agua recogen el agua de las lluvias, nacimientos de agua y de los escurrimientos que provienen de otras fuentes de agua. El destino final de las aguas superficiales que tienen salida es un cuerpo de agua más grande, como por ejemplo los ríos que llegan hasta el océano (Rothschuh, 2022).

Ahora, una fuente de agua subterránea es definida de la siguiente manera: cuando la lluvia cae al suelo, parte de ella fluye por la superficie a través de corrientes, ríos y lagos, y algo de ella humedece la tierra. Parte de esta agua es utilizada por la vegetación; otra parte se evapora y vuelve a la atmósfera. Pero otra parte de esta agua se infiltra en el suelo, fluye a través de la zona no saturada y alcanza el nivel freático, el cual consiste en una superficie imaginaria debajo del terreno que separa la zona insaturada de la saturada (véase la siguiente ilustración).

El agua subterránea está contenida en un espacio que se llama “acuífero”. Un acuífero es una formación geológica o una parte de ella que consta de un material permeable capaz de almacenar una cierta cantidad de agua. Los acuíferos pueden consistir de diferentes materiales, por ejemplo arena suelta, ripio, rocas permeables sedimentadas como piedras de arena o piedras de lodo, lava volcánica fracturada, rocas cristalizadas, etc.

El agua subterránea es (naturalmente) recargada con agua de lluvia, agua proveniente de nieve derretida o de agua que se infiltra desde el fondo de lagos, ríos y otros cuerpos de agua superficial. Los acuíferos también pueden recargarse cuando hay fugas en sistemas de distribución de agua (por ejemplo, cañerías) y cuando se riegan cultivos con demasiada agua. También existen técnicas para gestionar la recarga artificial de acuíferos y así aumentar la cantidad de agua que se infiltra en la tierra. (IGRAC)

Se conocen con el nombre de obras de captación, las estructuras que se colocan directamente sobre las fuentes superficiales o subterráneas que se han seleccionado como económicamente utilizables para surtir una red de acueducto (Corcho & Duque, 2005).

2.1.2. Líneas de abastecimiento

Ramírez (2016) separa las líneas de abastecimiento en 2 secciones, las líneas de aducción que las define como el tramo donde se conduce el agua cruda desde la captación hasta la planta de tratamiento. Esta conducción puede realizarse por medio de canales abiertos debido a que no se le ha realizado ningún tipo de tratamiento, se recomienda que sea lo más corta posible. Y como segundo grupo las redes de distribución secundarias y menores, a las que define como el conjunto de tuberías destinadas al suministro en ruta del agua potable a las viviendas y demás establecimientos.

2.1.3. Sistema de bombeo

Para poder dar con la definición de un sistema de bombeo, debemos iniciar por encontrar con detalle lo que significa una bomba. Corcho & Duque (2005) dan con una manera sencilla de describir lo que una bomba representa: es una máquina hidráulica donde se produce un cambio de momentum

angular de un impulsor rotativo por la acción de un motor que induce energía mecánica para que se transforme en energía hidráulica (aumento de velocidad y presión del fluido).

Una turbomáquina hidráulica es una máquina rotodinámica de fluido incompresible. Este tipo de máquina puede tener una sola etapa o célula o varias dispuestas en serie; cada etapa está compuesta por un elemento fijo (estátor) y otro móvil (rotor o rodete). El rodete o rotor es el elemento principal de una turbomáquina hidráulica, y es donde se produce fundamentalmente el intercambio de energía entre el fluido y la máquina. Según el modo con el que el fluido atraviesa el rodete, se pueden clasificar las turbomáquinas hidráulicas en radiales, axiales o mixtas, como se verá en la sección siguiente. En el estátor pueden distinguirse a su vez varios componentes:

El distribuidor, que es el elemento que conduce al fluido hacia la sección de entrada del rodete en dirección y magnitud apropiadas. En algunas turbinas es un conjunto de álabes fijos (en el sentido de no giratorios) pero regulables en orientación para controlar el caudal. En otros casos, como en las bombas, es un simple conducto de admisión o de aspiración.

El difusor, que recoge el fluido que sale del rodete y lo guía (en ocasiones mediante álabes) de forma eficiente para que reduzca su energía cinética y recupere presión estática. En las turbinas se le denomina también tubo de aspiración, pues desagua y crea depresión en la salida del rodete.

La voluta, consistente en un canal de sección creciente (bombas) o decreciente (turbinas) que rodea al rodete, recogiendo el fluido que sale de este en el caso de las bombas o distribuyéndolo en la periferia de las turbinas. En turbinas es frecuente llamarle caja espiral. Por su forma característica, a veces se le denomina simplemente caracol. (Zamora Parra & Viedma Robles, 2016)

2.1.4. Válvulas

Nesbit (2017), define las válvulas como uno de los componentes fundamentales en cualquier proceso en una planta. El diseño ingenieril se basa en una cantidad de dispositivos mecánicos para permitir que el transporte de productos se lleve a cabo bajo condiciones controladas y las válvulas son el eje central de esto.

Según el Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE), por sus siglas en inglés, una válvula consiste en un dispositivo mecánico que controla el flujo y la presión de un fluido dentro de un sistema o proceso. Una válvula controla el flujo y la presión del fluido de un sistema o proceso realizando cualesquiera de las siguientes funciones:

- Deteniendo e iniciando el flujo de un fluido
- Variando, cerrando, la cantidad de flujo de un fluido

- Controlando la dirección del flujo de un fluido
- Regulando la presión del proceso o del sistema aguas abajo
- Aliviando la presión para la tubería o para un componente del sistema

El autor hace una separación de las válvulas según el proceso en que se desempeñan.

2.1.4.1. Válvulas de corte o Aislamiento

Son válvulas que se colocan en sistemas por gran variedad de razones. Las más probables son que sean colocadas por razones de mantenimiento y seguridad. Equipos y procesos que cuentan con respaldo tendrán válvulas de aislamiento que permiten mantenimiento e inspección sin parar el proceso. (DOE, 2015)

Algunos tipos de válvulas de aislamiento son las siguientes: válvulas de movimiento linear, válvula de puente paralelo, válvula de compuerta de cuña, válvula de guillotina, válvula de compuerta de conducto, válvula de globo recta, válvula de globo en ángulo y válvula de globo oblicua.

2.1.4.2. Válvula antirretorno

Como su nombre lo indica, son válvulas que permiten el flujo del fluido en un solo sentido, previniendo así que el fluido viaje en la dirección incorrecta.

Algunos de los tipos que se pueden encontrar son los siguiente: válvula de disco oscilante, válvula de doble disco oscilante, válvula antirretorno de pie y válvula antirretorno de balón.

2.1.4.3. Válvula de alivio

En general los sistemas presurizados son diseñados bajo una norma o código. Este código especifica una cantidad permitida de estrés al que se puede someter el sistema para proveer un margen de seguridad aceptable. Este margen de seguridad considera posibles variaciones y el efecto del estrés en el material. Mayoritariamente estos códigos se basan en procesos estables en las condiciones de operación, los efectos de la fatiga debido a cambios continuos en la oscilación de la presión no son considerados. Cuando esta fatiga es posible que suceda se deben considerar precauciones especiales. (DOE, 2015)

2.1.4.4. Válvulas especiales

AyA, en su Norma diseño y construcción de sistemas de agua, saneamiento y pluvial, establece los tipos de válvulas especiales a considerar:

- Válvulas reductoras de presión
- Válvulas sostenedoras de presión

- Válvulas de control de caudal
- Válvulas de control de nivel

2.1.5. Golpe de Ariete

Según Giles (2003), el golpe de ariete es un término que se utiliza para describir el choque producido por una súbita disminución en la velocidad del fluido. En una tubería, al cerrar una válvula, el tiempo que tarda la onda de presión en viajar aguas arriba hasta la embocadura de la tubería y volver aguas abajo hasta la válvula viene dado por:

$$T = \frac{2L}{c}$$

(Ecuación 4)

Donde:

T=tiempo

L= longitud de la tubería

c=celeridad de la onda a presión

Para tuberías rígidas, la celeridad de la onda de presión es

$$c = \sqrt{\frac{E_B}{\rho}}$$

(Ecuación 5)

Donde:

E_B = módulo de elasticidad volumétrico

ρ = densidad del fluido

Para tuberías rígidas, la celeridad de la onda de presión es

$$c = \sqrt{\frac{E_B}{\rho \left[1 + \left(\frac{E_B}{E} \right) * \left(\frac{d}{t} \right) \right]}}$$

(Ecuación 6)

Donde:

E=módulo de elasticidad de la pared de la tubería

d = diámetro interior de la tubería

t = espesor de la pared de la tubería

2.1.6. Desinfección

En el agua y en el medio ambiente, están presentes microorganismos que la gran mayoría no presentan un riesgo al hombre y a los seres vivos, inclusive convivimos con ellos y son parte de los procesos de la vida. Sin embargo, algunos de ellos, y solo unos cuantos, presentan un riesgo a la salud, pudiendo causar incluso la muerte. Algunos agentes virales son transmisores de enfermedades y pueden o no pueden sobrevivir en el agua. Si no son capaces de hacerlo, el agua no es vehículo de contaminación de estos agentes. Los microorganismos patógenos o causantes de enfermedades son llamados agentes infecciosos y pueden ser transmitidos al hombre y seres vivos por vehículos como el aire y los alimentos, pero el más común es el agua que se consume. Conagua (2019)

Las actividades de desinfección son consideradas como los mecanismos principales en la desactivación o eliminación de patógenos (organismos microscópicos), para prevenir la dispersión de enfermedades transmitidas a través del agua tanto a las personas como al ganado.

Entre los principales contaminantes biológicos del agua encontramos diferentes agentes patógenos que provienen en su mayoría de residuos orgánicos; esta contaminación está relacionada con los desechos de origen doméstico e industrial vertidos a los cuerpos de agua. La carga contaminante de los residuos de origen doméstico está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos de origen fecal. Estos microorganismos son causantes de enfermedades de origen hídrico, que generan altos porcentajes de morbi-mortalidad en la población.

Las enfermedades infecciosas se transmiten principalmente a través de las excretas de seres humanos y de animales; las infecciones asociadas al agua se producen por ingestión o por contacto (piel, mucosas, heridas), pero muchas enfermedades pueden transmitirse asimismo por otras vías, como son el contacto entre personas o la inhalación de aerosoles.

Los organismos patógenos que se pueden encontrar en aguas contaminadas son:

- Virus
- Bacterias
- Protozoarios
- Helmintos. Conagua (2019)

La desinfección es el último proceso y uno de los más importantes en el tratamiento del agua destinada al consumo humano. Es la única forma de garantizar la eliminación de microorganismos patógenos en el agua que puedan dañar la salud de las personas.

La eficiencia de este proceso dependerá de factores que se deberán tener en cuenta, como son:

- La naturaleza y número de los organismos a ser destruidos
- El tipo y concentración del desinfectante usado.
- La temperatura del agua a ser desinfectada. Cuanta más alta sea la temperatura, más rápido es el proceso.
- El tiempo de contacto entre el desinfectante y el agua. Mientras mayor sea este periodo, los resultados son mejores. La totalidad de muertes de microorganismos es proporcional al tiempo de contacto.
- La calidad del agua a ser desinfectada. Si el agua contiene partículas, especialmente de naturaleza coloidal y orgánica, la eficiencia de la desinfección es menor. Es recomendable que la turbiedad del agua sea menor a 5 UNT.
- El pH del agua.

Las condiciones de la mezcla. Se obtiene buenos resultados cuando la mezcla del agua y el desinfectante es homogénea. (OPS, 2007)

Los desinfectantes y el equipo de desinfección se deben seleccionar de modo que satisfagan en lo posible las condiciones específicas de la aplicación a que se destinen teniendo en cuenta todos los factores que influyen en la fiabilidad, continuidad y eficacia de la desinfección. (OPS, 2007)

Los métodos de desinfección se dividen en dos categorías: Físicos y Químicos.

2.1.6.1. Métodos Físicos de desinfección

Dentro de los métodos de desinfección físicos se encuentran los siguientes:

- Ultrafiltración
- Ultrasonido
- Ósmosis inversa
- Electroforético
- Ebullición
- Congelación
- Radiación ionizante:
 - Gamma
 - Ultravioleta
 - Solar

2.1.6.2. Métodos Químicos de desinfección

Dentro de los métodos de desinfección físicos se encuentran los siguientes:

- Cloro:
 - Gas
 - Dióxido de cloro
 - Cloraminas
 - Hipoclorito:
 - Sodio
 - Calcio
- Permanganato de potasio
- Yodo
- Bromo
- Ozono
- Peróxido de hidrógeno
- Plata

2.1.7. Pruebas de Control de calidad del agua

Según el artículo 8, del Reglamento para la calidad del Agua Potable No 38924-S, se establece la definición y los parámetros a ser evaluados para definir la calidad del agua.

2.1.7.1. Nivel 1

Corresponde al programa de control básico, el cual consiste en la inspección sanitaria para evaluar la operación y mantenimiento en la fuente, el almacenamiento, la distribución del agua potable y la determinación de los siguientes parámetros: color aparente, conductividad, pH, olor, temperatura, turbiedad, coliformes fecales, Escherichia coli y cloro residual libre o combinado. Los valores de alerta y máximos admisibles, se indican en el cuadro 2 del anexo1 del presente reglamento. Si en la inspección sanitaria realizada por el Ministerio de Salud, se establecen otros riesgos de contaminación, deberán adicionarse al programa de control básico los parámetros necesarios. La frecuencia de muestreo y número de muestras a recolectar para los análisis físico-químicos y microbiológicos se indican en el cuadro siguiente:

Población abastecida (habitantes)	Fuentes de abastecimiento (a) (b)		Tanques de almacenamiento (a)		Red de distribución (a) y (b)		Total de muestras mínimas por año ©
	Frecuencia	Nº muestras	Frecuencia	Nº muestras	Frecuencia	Nº muestras	
< 5.000	Semestral	1 en cada fuente	Semestral	1 en cada tanque	Semestral	3	10
5000 a 100.000	Semestral	1 en cada fuente	Trimestral	1 en cada tanque	Trimestral	3	18
100 001 a 500 000	Mensual	1 en cada fuente	Mensual	1 en cada tanque	Mensual	15	120 más 12 por cada 100.000 habitantes (d)
> 500 000	Mensual	1 en cada fuente	Mensual	1 en cada tanque	Diaria	15	180 más 12 por cada 100.000 habitantes

Figura 2 Recurrencia de pruebas de Nivel 1 según población dotada

Fuente Elaboración Ministerio Salud

Anexo 1

Cuadro 1: Parámetros de Calidad del Agua.

Control Operativo (CO)

Parámetros de aceptabilidad	Unidad	Valor de alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
Turbiedad	UNT	1,0	5,0
Olor	-	Aceptable	Aceptable
Cloro residual libre (a)	mg/L	0,3	1,0

Figura 3 Parámetros de aceptación pruebas Nivel 1

Fuente Elaboración Ministerio Salud

Cuadro 2: Parámetros de Calidad del Agua

Nivel Primero (N1)

Parámetro	Unidad	Valor Alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
Color aparente	U-Pt-Co	< 5	15(c)
Conductividad	µS/cm	400	-
Coliforme fecal	NMP/100 ml UFC/100ml	No detectable (c)	No detectable (c)
Escherichia coli	NMP/100 ml UFC/100ml	No detectable (c)	No detectable (c)
Cloro residual libre (a)	mg/L	0,3	1,0
Cloro residual combinado (a) (b)	mg/L	1,0	1,8
Turbiedad	UNT	1,0	5,0
Olor	---	Aceptable	Aceptable
Temperatura (a)	°C	18	30
pH (a)	Valor pH	6,0	8,0

Figura 4 Parámetros de aceptación pruebas Nivel 1

Fuente Elaboración Ministerio Salud

2.1.7.2. Nivel 2

Corresponde a un programa ampliado, el cual consiste en la inspección sanitaria para evaluar la operación y mantenimiento en la fuente de abastecimiento y en la red de distribución. En este nivel los parámetros de control son: aluminio, calcio, cloruro, cobre, dureza total, fluoruro, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sodio, sulfato y zinc.

2.1.7.3. Nivel 3

Corresponde a un programa de control avanzado, el cual consiste en la inspección sanitaria para evaluar la operación y mantenimiento en la fuente de abastecimiento y en la red de distribución. Los parámetros de control contemplados en este nivel son: amonio, antimonio, arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel, nitrato, nitrito, plomo y selenio.

Población abastecida (habitantes)	Fuentes de abastecimiento		Red de distribución	
	Frecuencia	Nº muestras	Frecuencia	Nº muestras
< 5000	Cada 3 años	1 en cada fuente o en la mezcla de todas las fuentes, que ingresa a la red de distribución.	Cada 3 años	1
5000 a 100.000	Cada 2 años	1 en cada fuente o en la mezcla de todas las fuentes, que ingresa a la red de distribución.	Cada 2 años	1
100 001 a 500 000	Anual	1 en cada fuente o en la mezcla de todas las fuentes, que ingresa a la red de distribución.	Anual	1
> 500.001	Trimestral	1 en cada fuente o en la mezcla de todas las fuentes, que ingresa a la red de distribución.	Trimestral	6

Figura 5 Recurrencia de pruebas de Nivel 2 y 3 según población dotada

Fuente Elaboración Ministerio Salud

CUADRO 3. Parámetros de Calidad del Agua

Nivel Segundo (N2)

Nivel Segundo (N2) PARAMETRO	Valor de Alerta (VA) mg/L	Valor Admisible (VMA) mg/L	Máximo
Aluminio (Al+3)	---	0,2	
Calcio (Ca+2)	---	100	
Cloruro (Cl-)	25	250	
Cobre (Cu)	1,0	2,0	
Dureza Total (CaCO ₃)	300	400	
Fluoruro (F)	---	0,7 a 1,5(a)	
Hierro (Fe)	---	0,3(b)	
Magnesio (Mg+2)	30	50	
Manganeso (Mn)	0,1	0,5(b)	
Potasio (K+)	---	10	
Sodio (Na+)	25	200	
Sulfato (SO ₄ -2)	25	250	
Zinc (Zn)	---	3,0	

(a) 1.5 mg/L para temperaturas de 8 a 12 °C y 0,7 mg/L para temperaturas de 25 a 30 °C.

(b) En aguas subterráneas, donde se encuentran estos dos metales, el VMA (Fe + Mn) es 0,3 mg/L.

Figura 6 Parámetros de aceptación pruebas Nivel 2

Fuente Elaboración Ministerio Salud

CUADRO 4. Parámetros de Calidad del Agua Nivel Tercero (N3)

PARÁMETRO	Valor de alerta (VA) mg/L	Valor Máximo Admisible (VMA) mg/L
Amonio (NH ₄ ⁺)	0,05	0,5
Antimonio (Sb)	---	0,005
Arsénico (As)	---	0,01
Cadmio (Cd)	---	0,003
Cromo (Cr)	---	0,05
Mercurio (Hg)	---	0,001
Níquel (Ni)	---	0,02
Nitrato (NO ₃ -)	25	50
Nitrito (NO ₂ -)	---	0,1
Plomo (Pb)	---	0,01
Selenio (Se)	---	0,01

Figura 7 Parámetros de aceptación pruebas Nivel 3

Fuente Elaboración Ministerio Salud

2.2.Población de diseño

La determinación del número de habitantes para los cuales ha de diseñarse el acueducto, es un parámetro básico en el cálculo del caudal de diseño para la comunidad. Con el fin de poder estimar la población futura es necesario estudiar las características sociales, culturales y económicas de sus habitantes en el pasado y en el presente, y hacer predicciones sobre su futuro desarrollo, especialmente en lo concerniente a turismo y desarrollo industrial y comercial. (López Cualla, 2003)

Según AyA (2017), la población mínima de diseño se debe calcular a partir del número de unidades habitacionales que contempla el proyecto multiplicado por el factor de hacinamiento, este último corresponde al valor que se obtiene del último censo de población del distrito.

2.2.1. Población futura

Para el cálculo de la población futura, existen diversos métodos que pueden ser utilizados en simultaneo o por separado; sin embargo, Torres-Degró (2011) señala como los métodos más precisos para poblaciones rurales los que se señalan a continuación.

2.2.1.1. Tasa de Crecimiento aritmético

También conocido como tasa de crecimiento lineal, es el más simple de todos, supone que la población tiene un comportamiento lineal y por ende, la razón de cambio se supone constante donde se incrementa en la misma cantidad cada unidad de tiempo considerada. Es decir, en el modelo aritmético el supuesto básico consiste en que la población crece en un mismo monto (cantidad) cada unidad de tiempo. Esta tasa solo es aconsejable para períodos cortos de tiempo (menor de dos años). Torres-Degró (2011)

2.2.1.2. Tasa de Crecimiento geométrico

También conocido como interés compuesto, esta tasa supone un crecimiento porcentual constante en el tiempo. A diferencia del modelo anterior, dicha tasa mantiene constante el porcentaje de crecimiento por unidad de tiempo y no el monto (cantidad) por unidad de tiempo, por tanto, se puede usar para períodos largos. Torres-Degró (2011)

2.2.1.3. Tasa de Crecimiento exponencial

A diferencia del modelo geométrico, el modelo exponencial supone que el crecimiento se produce en forma continua y no cada unidad de tiempo. La justificación de esta sustitución se fundamenta en principios del Cálculo Matemático. Torres-Degró (2011)

2.2.2. Periodo de diseño

Se entiende por período de diseño, en cualquier obra de la ingeniería, el número de años durante los cuales una obra determinada ha de prestar con eficiencia el servicio para el cual fue diseñada. (López Cualla, 2003)

2.2.2.1. Obras de captación y toma

Para el cálculo del caudal a extraer de una toma de agua en río o quebrada, incluyendo el desarenador y para el caudal de una captación de naciente: de 25 a 50 años; el valor seleccionado dependerá del caudal del cuerpo de agua versus el caudal de diseño al plazo mayor posible según la capacidad del cuerpo de agua en la época de estiaje y las regulaciones que en esta materia estén determinadas en la legislación vigente.

2.2.2.2. Tubería de aducción

Para una tubería por donde fluya agua cruda o agua que únicamente requiere desinfección: de 25 a 50 años; el valor seleccionado debe ser igual al utilizado en la toma o captación.

2.2.2.3. Planta potabilizadora

De acuerdo a las tendencias de crecimiento de la población, se deben elegir períodos de diseño más largos para crecimientos lentos y viceversa. En función del crecimiento se debe aplicar lo siguiente:

- Crecimiento bajo (menos del 3% anual): de 20 a 25 años, dependerá del caudal del cuerpo de agua versus el caudal de diseño al plazo mayor y de las facilidades para ampliar la capacidad de la planta.
- Crecimiento alto (igual o mayor al 3%): de 15 a 20 años, dependerá del caudal del cuerpo de agua versus el caudal de diseño al plazo mayor y de las facilidades para ampliar la capacidad de la planta.

El nivel de crecimiento se debe obtener del promedio de los últimos dos censos poblacionales y el ajuste correspondiente a la última proyección según datos del INEC sobre crecimiento de población. Se debe tomar en cuenta, la zonificación y proyecciones de crecimiento establecidas en el Plan Regulador de cada cantón.

2.2.2.4. Tanque de almacenamiento

Para los tanques el período es de 25 años, cuando los proyectos no son de desarrollo urbanístico, se debe dejar previsto en el terreno el espacio para construir otro tanque de dimensiones similares.

Los tanques se pueden diseñar por etapas cuando el volumen es mayor a 2000 m³.

2.2.2.5. Tubería de conducción

Para líneas de tubería de conducción de agua tratada, el período es de 25 años. (CFIA, 2017)

2.3. Consumo hídrico

El complemento necesario para establecer el caudal de diseño de un acueducto, es la determinación del consumo total de agua o dotación bruta. El consumo es el volumen de agua utilizado por una persona en un día y se expresa por lo general en litros por habitante y por día.

La determinación del consumo total se debe hacer según datos estadísticos del consumo pasado y presente de la población (en el caso de que se disponga de esta información) o, si no, basándose en estos mismos datos de otras poblaciones vecinas con características similares desde la óptica de los factores determinantes del consumo. Cuando no sea posible obtener datos de la comunidad en cuestión o de comunidades vecinas, habrá que asignar valores típicos a cada uno de los usos de agua, según la desagregación que se haga del consumo.

El consumo total de un municipio se puede dividir en el consumo neto y las pérdidas de agua en el sistema de acueducto. La determinación individual de cada uno de ellos se debe realizar con pleno conocimiento de las características de la población. (López Cualla, 2003)

2.3.1. Factores determinantes del consumo hídrico

El consumo de agua está determinado por varios componentes. El mismo López Cualla (2003) desglosa varios factores que provee son los principales incidentes y además principales causas que nos hacen denotar la diferencia de consumo, de dos regiones distintas.

2.3.1.1. Temperatura

Debido a las condiciones propias de la actividad del ser humano, mientras mayor sea la temperatura, mayor será el consumo de agua. Por ejemplo, se beberá más agua, será más frecuente el aseo personal, se emplearán sistemas de aire acondicionado y el riego de jardines será más intensivo.

2.3.1.2. Calidad del agua

Por razones lógicas, el consumo de agua será mayor en la medida en que las personas tengan la seguridad de una buena calidad del agua. Lo anterior es válido para el sector doméstico e industrial.

2.3.1.3. Características sociales y económicas

El consumo de agua depende también en buena parte del nivel de educación y del nivel de ingresos de la población. Por esta razón en ciudades mayores, tales como ciudades capitales de departamento, el consumo de agua es mayor que en pueblos pequeños o caseríos.

2.3.1.4. Servicio de alcantarillado

El hecho de disponer de una red de alcantarillado incrementa notablemente el consumo de agua potable, en comparación con sistemas de evacuación de excretas primarios como letrinas, o donde no existe ningún sistema y la disposición se hace al aire libre. En estos casos extremos, el consumo puede variar desde 300 l/hab.xd para grandes metrópolis hasta 40 l/hab.xd para poblaciones sin servicios de alcantarillado.

2.3.1.5. Presión en la red de distribución de agua

Si se tienen altas presiones en la red, habrá mayores desperdicios en el consumo doméstico al abrir las llaves de los lavamanos, regaderas y otros elementos. Igualmente, se puede presentar un mayor número de rupturas de tubos dentro del domicilio o en la misma red de distribución, aumentando así el volumen de agua perdida.

2.3.1.6. Administración

Una administración eficiente controlará mejor el consumo de agua reduciendo las fugas y desperdicios y vigilando las conexiones clandestinas. Para realizar la labor anterior, se debe contar con equipos especializados como amplificadores electrónicos de sonido o trazadores radiactivos débiles y de corta vida, los cuales son muy costosos y no están al alcance de todos los municipios.

2.3.1.7. Medidores y tarifas

Al instalar un sistema nuevo de acueducto, puede que en un principio no se instalen medidores y tampoco se cobre por el uso del agua. Con el tiempo, el consumo se incrementa y se instalan medidores, lo cual causa un impacto psicológico en los usuarios, por lo que el consumo disminuye. Posteriormente el consumo aumenta y es entonces necesaria la implantación de un sistema de tarifas para racionalizar el consumo de agua.

2.3.2. Consumo neto

El consumo neto o dotación neta es la cantidad de agua usada efectivamente en cada una de las actividades que se realizan en una comunidad. Tradicionalmente, se ha clasificado el consumo como doméstico, industrial y comercial y público e institucional.

El consumo neto es la suma de los consumos residenciales, comerciales, industriales y públicos descritos anteriormente. Dicho valor puede incrementarse, a juicio del diseñador, según los siguientes aspectos:

- Corrección por tamaño de población
- Corrección por temperatura

2.3.2.1. Consumo residencial

El consumo residencial puede tener variaciones en la medida en que se adopten planes de uso racional del agua. El aseo personal y la descarga de sanitarios tienen un peso muy importante dentro del consumo residencial, lo cual ha llevado al diseño de sanitarios de bajo volumen de descarga y de adaptadores para lavamanos y regaderas.

Según CFIA (2017), cuando no existan datos reales de los patrones de consumos y demandas de la localidad en estudio, se deben utilizar los siguientes valores mínimos:

- Poblaciones rurales: 200 l/p/d; en caso de zonas rurales costeras se aplicará la dotación establecida para “Población costera”
- Poblaciones urbanas: 300 l/p/d
- Poblaciones costeras: 375 l/p/d
- Área Metropolitana: 375 l/p/d

2.3.2.2. Caudal Máximo Diario (QMD)

Representa el día de mayor consumo en el año y se calcula con la siguiente ecuación (CFIA, 2017):

$$QMD = QPD \times FMD$$

(Ecuación 7)

En donde:

QMD = caudal máximo diario, (l/d)

QPD = caudal promedio diario, (l/d)

FMD = factor máximo diario; 1,2

2.3.2.3. Consumo máximo horario

Según (CFIA, 2017), corresponde a la demanda máxima que se presenta en una hora durante un año completo y en general se determina como sigue:

$$QMH = QMD \times FMH$$

(Ecuación 8)

Donde:

FMH = factor máximo horario (1,8)

QMH = caudal máximo horario, (l/d)

2.3.2.4. Caudal de incendio

Acueductos y Alcantarillados (2017), establece que este caudal, la ubicación y los tipos de hidrantes para los sistemas que necesiten de estos, tiene que cumplir con los requerimientos técnicos que establece el Benemérito Cuerpo de Bomberos, de conformidad con la ley N° 8641 y la ley N° 8228.

2.3.2.5. Caudal de diseño

Este caudal se calculará a partir de la suma del caudal máximo diario y el caudal de incendio (CFIA, 2017).

$$Q_{diseño} = QMD + Q_{incendio}$$

(Ecuación 8)

2.4.Red de distribución

La red de distribución es el componente de un sistema de abastecimiento de agua a través del cual se transporta esta desde el desarenador hasta la planta de tratamiento, al tanque de almacenamiento o directamente a la red de distribución. Dependiendo la conexión de alguno de los anteriores componentes del tamaño del proyecto; de las características del agua; de la capacidad financiera y de inversión del municipio; de las condiciones topográficas; etcétera.

La mayoría de las conducciones aplicadas a sistemas de acueductos implican el flujo en tuberías; no obstante, en ocasiones por razones económicas y topográficas, es posible diseñar conducciones en canales abiertos

De acuerdo con el comportamiento hidráulico del flujo, las conducciones pueden ser:

- Canales abiertos
- Conductos cerrados sin presión
- Conductos cerrados a presión en los cuales el agua se impulsa por la gravedad o mediante estaciones de bombeo
- Conducciones mixtas

2.4.1. Hazen-Williams

La cantidad de energía requerida para impulsar el caudal indujo a la recopilación de datos experimentales y de campo sobre el flujo en las tuberías. A todo esto, siguió un natural desarrollo científico para elaborar fórmulas de diseño. Uno de los procedimientos para simplificar el diseño fue mediante el método empírico, trazando los datos en gráficas y desarrollando ecuaciones empíricas. Estas ecuaciones tienen todavía amplio uso en la práctica. Una de ellas es la llamada ecuación de Hazen-Williams. Investigadores norteamericanos (Allen Hazen, ingeniero civil y sanitario Gardner S. Williams, profesor de hidráulica) quienes después de un cuidadoso examen estadístico de datos obtenidos por más de 30 investigadores, inclusive los de Darcy y los que discurrieron de investigaciones propias, propusieron en 1903 una fórmula práctica que puede ser escrita en el sistema métrico así (Corcho, F. H., & Duque, J. I., 2005):

$$V = 0.355 \times C \times D^{0.63} \times S^{0.54}$$

(Ecuación 8)

Donde:

V = velocidad promedio m/s

S = pérdida de carga unitaria o pendiente de la línea de energía (m/m de tubería)

C = coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams

D = diámetro interno de la tubería (m)

Tabla 1 Coeficiente de rugosidad Hazen-Williams

Descripción de la Tubería	C
Hierro Fundido	
Nuevo	130
5 años	120
10 años	110
20 años	90-100
30 años	75-90
Concreto	120
Revestimiento de cemento	140
Acero soldado	120
Acero remachado	110
Plástico	150
Asbesto cemento	140

Fuente Trenece J. McGhee (1999)

2.4.2. Carga estática y carga dinámica

La carga estática representa la carga máxima a la que puede estar sometida una tubería cuando se interrumpe bruscamente el flujo, y la carga dinámica representa en cualquier punto de la línea, la diferencia de la carga estática y la pérdida de carga por fricción en la tubería (OPS, 2004).

2.4.3. Diámetro mínimo de tuberías

En líneas de conducción y de aducción, el diámetro mínimo de la tubería será el que determine el cálculo hidráulico. Además, el diámetro interno de la tubería corresponderá al que se indique según el Código Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, a ser calculado mediante la ecuación 9 (CFIA, 2017).

$$A_{mínima} = \frac{Q}{V}$$

(Ecuación 9)

2.4.4. Presión interna en tuberías

Las tuberías deben de soportar la presión estática interna más sobrepresiones por golpe de ariete, pero en ningún caso dicha capacidad será menor a 100 mca (presión nominal de trabajo) (AyA, 2017). Se establecen las siguientes excepciones:

- En líneas de conducción y de aducción, cuando el cálculo hidráulico lo permita, las tuberías deben ser resistentes a la presión estática interna, más sobrepresiones por golpe de ariete, pero en ningún caso, la resistencia de las tuberías será menor a 80 mca.

- En redes de distribución de acueductos rurales, cuando el cálculo hidráulico lo permita, las tuberías deben ser resistentes a la presión estática interna, más sobrepresiones por golpe de ariete, pero en ningún caso, la resistencia de las tuberías será menor a 80 mca. (AyA, 2017)

2.4.5. Tuberías y accesorios

Los tubos que se incorporen al sistema de recolección deben ser de sección circular. El material del tubo para conexiones domiciliarias debe ser polietileno de alta densidad (conocido por sus siglas en inglés como “HDPE”) en DR 9.

El material de la tubería para líneas de conducción, de aducción o de otros componentes del sistema de abastecimiento de agua potable, debe corresponder con los materiales indicados en la Tabla 1 del presente documento.

No se permite el uso de tubería PVC-SDR-41 en los sistemas de abastecimiento de agua potable, lo anterior incluye los casos en donde la presión operativa máxima lo permita.

Los accesorios de los tubos y las juntas o uniones correspondientes, son las que se indiquen o recomienden en las normas técnicas de fabricación del tubo. Además, los accesorios deben ser resistentes a la presión máxima calculada por el diseñador, pero en ningún caso menor a la resistencia del tubo al cual se conecta el accesorio.

En tubos plásticos se acepta junta elastomérica (de empaque de hule). Se aceptan uniones electrofusionadas o termofusionadas únicamente cuando la norma técnica de fabricación del producto (tubo) o la del accesorio o la que aplica para la técnica o procedimiento de termofusión o electrofusión, permita esa unión de forma específica para los elementos a unir.

Los tubos y accesorios que se seleccionen deben cumplir con alguna de las normas técnicas. Para cada tipo de tubo y sus accesorios, al igual que para el tipo de unión, se debe indicar la norma de fabricación (CFIA, 2017).

2.4.6. Pérdidas de carga en el sistema

Para el cálculo de pérdidas de carga originadas por fricción en las tuberías de distribución y los ramales de alimentación, se recomienda utilizar la fórmula de Darcy-Weisbach, ya que presenta la mayor precisión para calcular las pérdidas de carga en la tubería. El método de Darcy-Weisbach se expresa de la siguiente manera (Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, 2017):

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

(Ecuación 10)

Donde:

hf: pérdidas de energía (m)

D = diámetro interno de la tubería (m)

f = factor de fricción

g = aceleración de la gravedad (m/s²)

L = longitud de la tubería (m)

V = velocidad del líquido en la tubería (m/s)

Siguiendo con este tema, el coeficiente de fricción “f” se calcula a partir de la fórmula de Colebrook White o su equivalente gráfico, el diagrama de Moody. La ecuación de Haaland, que se mostrará a continuación, es explícita y aproxima la ecuación de Colebrook, con un error menor del 2% en el cálculo del factor de fricción:

$$f = \frac{1}{\left[-1,8 \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} \right) \right]^2}$$

(Ecuación 11)

Donde:

Re = número de Reynolds en el conducto

D = diámetro interno de la tubería (mm)

ε = rugosidad absoluta del material de la tubería en mm

Esta ecuación es válida bajo las siguientes ecuaciones:

- $4000 < Re < 1 \times 10^8$
- $1 \times 10^6 < \varepsilon D < 0,05$

Por último, la norma recomienda para tuberías lisas utilizar la ecuación de Blasius:

$$f = \frac{0,316}{Re^{1/4}} ; \text{ en el rango } Re \leq 2 \times 10^4$$

(Ecuación 12)

$$f = \frac{0,184}{Re^{1/5}} ; \text{ en el rango } 2 \times 10^4 < Re \leq 2 \times 10^6$$

(Ecuación 13)

2.4.7. Sistemas Hidroneumáticos

Según CFIA, 2017 en lugares donde el abastecimiento público de agua no garantice presión suficiente para los requerimientos de la edificación, podrán instalarse equipos hidroneumáticos para mantener una presión adecuada en el sistema de distribución de agua. Los tanques hidroneumáticos no deben ser utilizados para la protección contra incendios.

Para la instalación de equipos hidroneumáticos, deberá disponerse de un tanque bajo con capacidad mínima para el consumo total diario del edificio.

Las bombas deben seleccionarse para satisfacer las presiones requeridas por el sistema, incluyendo el rango de operación del tanque hidroneumático. Para la condición de demanda máxima, se recomienda que los arranques por hora del motor del sistema de bombeo no excedan las recomendaciones del fabricante. Como guía, se sugieren los siguientes valores:

. Motores mayores de 4 kW: 6 a 8 ciclos/hora.

. Motores entre 4 y 2 kW: 8 a 15 ciclos/hora.

. Motores menores de 2 kW: 15 a 25 ciclos/hora.

Figura 8 Arranques por hora para bombas de sistema hidroneumático

Elaboración CFIA

2.4.8. Bombas

La selección de los equipos de bombeo deberá hacerse con base en las curvas características de los mismos, su región de operación de preferencia y su región aceptable de funcionamiento, así como con las condiciones de funcionamiento del sistema de distribución, determinando en forma correcta los puntos de operación que corresponden con los diferentes regímenes de funcionamiento considerados. La potencia del motor deberá estar de acuerdo con los requerimientos de potencia hidráulica del sistema.

Las bombas instaladas en las edificaciones, destinadas al abastecimiento de agua, no podrán conectarse directamente a la red pública, únicamente será a través de un tanque de captación. Los diámetros de las tuberías de impulsión de las bombas se determinarán en función del caudal de bombeo y de la carga dinámica total. Los diámetros de las tuberías de succión de las bombas se determinarán de acuerdo con la carga neta de succión requerida de la bomba.

Los motores eléctricos que accionen bombas deberán tener una potencia nominal del 130% de la absorbida por la bomba, si son trifásicos, y del 150% si son monofásicos. En caso de que se disponga de datos técnicos precisos, podrá calcularse la potencia requerida, tomando en cuenta tales características. Estos datos deberán entenderse como una guía y no como una exigencia.

Los equipos de bombeo de los sistemas de distribución de agua instalados dentro de los edificios deberán ubicarse en ambientes adecuados y que satisfagan requisitos tales como espacio libre alrededor de la bomba suficiente para su fácil reparación o remoción, piso con pendiente hacia desagües previstos, minimización de la contaminación acústica o sónica, seguridad y ventilación adecuada para el local. Los equipos que se instalen en el exterior deberán estar protegidos adecuadamente contra la intemperie y disponerse de tal forma que la contaminación acústica o sónica se minimice.

La potencia de la bomba podrá calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta}$$

Donde,

- P= potencia absorbida por la bomba (kW)
- H= presión desarrollada por la bomba (mca)
- Q= caudal que suministrará la bomba (L/s)
- ρ = densidad del agua (kg/m³)
- g= aceleración de la gravedad (m/s²)
- η = eficiencia de la bomba (%)

Figura 9 Potencia absorbida por las bombas

Elaboración CFIA

2.5. Alimentación eléctrica

Como parte de las medidas de prevención ante situaciones catastróficas y utilizando como base acontecimientos suscitados en el pasado, además de estudios e investigaciones, es que se han desarrollado diferentes normativas que establecen los requerimientos con que deben cumplir las diferentes instalaciones eléctricas. En nuestro país, para tal efecto es que se ha acogido como base la normativa establecida por la Asociación Nacional de Protección del Fuego (NFPA, por sus siglas en inglés) en el Código Eléctrico Nacional 70. Dicho documento dicta los estándares que deben seguirse en busca de la protección tanto para las edificaciones como para las personas que hacen uso de los equipos que requieren una alimentación eléctrica.

2.5.1. Voltaje

Hayt Jr, & Buck definen voltaje como el trabajo realizado (por una fuerza externa) para mover una unidad cargada positivamente desde un punto a otro, en un campo eléctrico. La diferencia de potencial es medida en Joules por Coulomb, para lo cual el Voltio es definido como la unidad más común, abreviada como V.

2.5.2. Corriente eléctrica

Hayt Jr, & Buck dan la definición de corriente eléctrica al flujo de cargas eléctricas en movimiento. La unidad de corriente es el Amperio (A), definido como la tasa de movimiento de una carga pasando por un punto de referencia dado (o cruzando un plano de referencia dado) a referencia de un Coulomb por segundo. La corriente es simbolizada por I.

2.5.3. Conductores eléctricos

Alexander & Sadiku (2013), establecen como conductor a aquel elemento capaz de tener una característica de baja resistividad al flujo de la carga eléctrica. Esta propiedad física hace de un elemento que sea considerado de mayor o menor conveniencia cuando se trata de la elaboración de diseños eléctricos específicos. Se tienen materiales con mayor resistividad, los cuales los encasilla como no conductores; y otros con menor resistividad, a los cuales se conocen como conductores.

Para el caso de los conductores tenemos algunos materiales con mayor índice de conductividad, lo cual permite para efecto del flujo de la carga eléctrica, que sean mayormente utilizados como elementos fundamentales en los diseños eléctricos, tal es el caso del cobre, el cual como observamos en la tabla 2, presenta una resistividad de $1.72 \times 10^{-8} \Omega \times m$, lo que lo convierte en uno de los mejores conductores.

Tabla 2 Resistividad de materiales comunes

Material	Resistividad ($\Omega \times m$)	Uso
Plata	1.64×10^{-8}	Conductor
Cobre	1.72×10^{-8}	Conductor
Aluminio	2.8×10^{-8}	Conductor
Oro	2.45×10^{-8}	Conductor
Carbón	4×10^{-5}	Semiconductor
Germanio	47×10^{-2}	Semiconductor
Silicio	6.4	Semiconductor
Papel	10^{10}	Aislante
Mica	5×10^{11}	Aislante
Vidrio	10^{12}	Aislante
Teflón	3×10^{12}	Aislante

Fuente Alexander, Charles K. & Sadiku, Matthew N. O. (2013)

2.5.4. Cortocircuito

Según Alexander & Sadiku (2013), un cortocircuito es un elemento de un circuito con resistencia que se aproxima a cero, lo que indica que la tensión es de cero pero que la corriente podría ser de cualquier valor. En la práctica, un cortocircuito suele ser un alambre conectado, que se supone que es un conductor ideal.

2.5.5. Protecciones eléctricas

Los diferentes circuitos eléctricos presentan elementos de protección que sugieren ser una medida de seguridad en caso de una situación fuera del funcionamiento diseñado para el sistema o en caso que un cortocircuito acontezca.

En este caso, los diferentes elementos a tener presentes dentro de un circuito serían los siguientes:

- Fusibles
- Interruptores
- Disyuntores o “breakers”

2.5.5.1. Fusibles

El NEC define el fusible como el dispositivo de protección contra sobre corriente con una parte fundible de apertura de un circuito, que se calienta y rompe por el paso de una sobre corriente a través de ella. Un fusible comprende todas las partes que forman una unidad capaz de realizar las funciones prescritas. Puede ser o no el dispositivo completo necesario para conectarlo a un circuito eléctrico. Existen varios tipos:

- Fusible de potencia de ventilación controlada
- Unidad fusible de expulsión (fusible de expulsión)
- Fusible de potencia no ventilado
- Unidad fusible de potencia
- Fusible de potencia ventilado
- Fusible accionado electrónicamente
- Fusible múltiple

2.5.5.2. Interruptores

Dispositivo diseñado para cerrar, abrir o ambos; uno o más circuitos eléctricos, mantienen su posición luego de ser accionados.

2.5.5.3. Disyuntores o “breackers”

Dispositivo de interrupción capaz de establecer, transportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito y de establecer y transportar corriente durante un tiempo determinado y de interrumpir corrientes en determinadas condiciones anormales, como en caso de cortocircuito. Son clasificados según el uso: térmico, magnético, termomagnético y diferencial.

Además de que deben ser calculados según la intensidad de corriente de los dispositivos que componen el sistema o circuito en que deben trabajar.

2.6.Mantenimiento

El autor Montilla Montaña (2016), sugiere diferentes conceptos de mantenimiento que nos introducen a un entendimiento de una disciplina que es elemental para nuestro día a día.

1. Es mantener un ítem de producción en condiciones óptimas o hacer que recupere esa característica. Disciplina inherente a la producción y no se puede concebir aparte de ella.
2. Parte de la Ingeniería que con su acción ayuda a la conservación de los elementos de una empresa, sea cual fuere, además haciendo mínimas las fallas inesperadas con lo cual se obtendrá más economía, seguridad y eficiencia dentro de la empresa.
3. Conjunto de recursos físicos (tierra, capital, equipos), recursos humanos, tecnología e información, que acoplados buscan mejorar la eficiencia del sistema de producción disminuyendo los paros, aumentando la confiabilidad del equipo y garantizando la seguridad y un nivel de costos rentable; todo ello dentro del marco del desarrollo propio de la empresa y del país.
4. Conjunto de actividades (planificadas y coordinadas) que propende a mantener los equipos (de diversa índole), en una condición operativa, lo más cercana posible a su estado teórico o nominal, con el mínimo de inversión (económica, tiempo, insumos), de manera segura para el personal y el medio ambiente, apoyando de manera positiva el cumplimiento de las metas de una organización.

2.6.1. Mantenimiento correctivo

El mismo autor se refiere al mantenimiento correctivo como el sistema en el que se interviene un equipo una vez que ha ocurrido una falla funcional o que se hace evidente que va a ocurrir una avería mayor (falla potencial). Evidencia dos tipos de mantenimiento correctivo:

1. **Correctivo de emergencia:** tiene lugar cuando ocurre una falla funcional de manera inesperada dentro de la jornada de producción de la empresa, y generalmente detiene o trastorna la producción.
2. **Correctivo programado:** tiene lugar cuando se hace evidente una falla potencial, pero su efecto no es dramático y permite culminar la jornada o el ciclo de producción, para proceder a realizar las correcciones necesarias.

2.6.2. Mantenimiento correctivo

Montilla Montaña (2016), provee para el mantenimiento programado con la siguiente definición: es aquel que se ejecuta deteniendo el equipo cada vez que se cumpla un lapso predeterminado, procediendo luego a llevar unas actividades de limpieza, lubricación, desarme, cambio de partes de recambio y posterior rearme; generalmente el lapso es el recomendado por el fabricante del equipo, desconociendo la cantidad e intensidad real de trabajo que haya efectuado el equipo.

2.6.3. Mantenimiento preventivo

Es un sistema de Mantenimiento cuyo objetivo esencial es prevenir la ocurrencia de fallas en un sistema productivo, con base en la ejecución de unas tareas básicas (Observar, inspeccionar, calibrar, ajustar, cambiar, lubricar, reparar, etc.), a unas frecuencias predeterminadas, asociadas a cada ciclo productivo en particular. La ejecución de las tareas básicas puede indicar la necesidad de realizar tareas programadas adicionales (mantenimiento correctivo programado, modificaciones, etc.). Montilla Montaña (2016)

2.6.4. Mantenimiento predictivo

Se basa en estudiar los síntomas de falla y predecir la ocurrencia de la falla de una máquina, midiendo y analizando los cambios en las variables de operación de la misma. El Mantenimiento Predictivo es una fase avanzada del Preventivo, y se efectúan por un lado ensayos o pruebas sobre partes de las máquinas y complementariamente se hacen mediciones de variables de operación.

2.7. Normativa aplicable

Como parte de los lineamientos establecidos por nuestro país, Costa Rica, los siguientes documentos fueron consultados y utilizados como base para el diseño y guía de los elementos a ser incorporados en el desarrollo del sistema:

- Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial, de Acueductos y Alcantarillados.
- Interpretación de análisis de agua potable para la gestión comunitaria en las ASADAS, de Acueductos y Alcantarillados.
- Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones CIHSE, del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.
- Concesión de agua subterránea, de la Dirección de Aguas.
- Código Eléctrico Nacional 2020, de la National Fire Protection Association, NFPA.
- Guía para la selección de sistemas de desinfección, de la Organización Panamericana de la Salud, OPS.
- Ley de Aguas - Ley No 276.
- Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos.
- Reglamento para la perforación de pozos y aprovechamiento de aguas subterráneas, del Ministerio de Ambiente y Energía.

3. Marco metodológico

3.1. Enfoque de la investigación

Los enfoques cuantitativo, cualitativo y mixto, constituyen posibles elecciones para enfrentar problemas de investigación y resultan igualmente valiosos. Son, hasta ahora, las mejores formas diseñadas por la humanidad para investigar y generar conocimientos. (Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P., 2014)

Habiendo planteado la problemática a la cual se debe encontrar solución y bajo los objetivos planteados, es que se permite hacer la elección del enfoque de investigación del tipo cuantitativo, esto debido a que el desarrollo del diseño del acueducto que mejor se adapta a la topología del lugar es el eje central del proceso investigativo.

3.1.1. Enfoque cuantitativo

Según lo expuesto por Hernández (2014), el enfoque cuantitativo debe ser basado en características propias, que permiten ir moldeando de una manera sencilla lo que dará como resultado una investigación con enfoque cuantitativo, que se ajuste por contingencias o cambios en la misma investigación dada.

Inicia con una perspectiva teórica para comprobarla empíricamente: dentro de la investigación aquí contenida se debe iniciar con la toma de datos teóricos, lo cuales serán la base fundamental para el desarrollo de los cálculos de la dotación y caudales presentes en la naciente.

Establece pautas de comportamiento o comprobación teórica: una vez los cálculos despliegan resultados, estos serán tomados como objeto de decisión del cumplimiento de las normativas vigentes.

La teoría guía el estudio: haciendo uso de las bases teóricas que componen el cálculo establecido para realizar el mejor diseño posible, para la tubería que compone el acueducto, es que se echa mano a los distintos enunciados desarrollados por diversos autores, con el fin de establecer en la sumatoria final, el objetivo por el que se trabaja.

Es secuencial y probatoria: la guía de ir siguiendo la sucesión de pasos por establecer, es que se podrá ir tomando las mejores decisiones que al final del proceso establezcan el éxito de la investigación.

Intenta generalizar resultados: el acompañamiento de normas y estándares internacionales, hacen que el entendimiento para diversos profesionales relacionados con el trabajo aquí desarrollado, no sea de manera compleja.

Se fundamenta en medición: como bien es mencionado anteriormente, la toma de datos basada en la teoría y en la secuencialidad de la investigación, permite que las mediciones dadas sean un elemento de alta relevancia en la toma de decisiones.

La pregunta de investigación versa de cuestiones específicas: al mantener el diseño la especificidad a ser desarrollada en el diseño puntual para la propiedad en cuestión, permite alcanzar un grado de implementación único al trabajo aquí descrito.

Pretende confirmar y predecir los fenómenos, buscando regularidades y relaciones causales entre los elementos: son los mismos datos obtenidos a lo largo de la medición, que permiten el desarrollo e implementación de soluciones que brinden un adecuado establecimiento del abastecimiento del agua a lo largo del acueducto.

Tabla 3 Definiciones según objetivo

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Diseñar un sistema mecánico, basado en la normativa vigente, que cumpla con las buenas prácticas de ingeniería, con el fin de abastecer y potabilizar agua proveniente de una naciente con el que se permita el suministro a lo largo de todo el recorrido de este.	Volumen	L	El volumen es una proporción métrica de tipo escalar que se define como el tamaño en tres dimensiones de una zona en el espacio.	Medición de las dimensiones de los elementos a calcular y tabulación de los valores en hojas de Excel.	Cinta métrica Stanley (951B) 8m Microsoft Excel LTSC Professional Plus 2021.
	Consumo hidráulico	L/d	Cantidad mínima de agua a ser consumida por casa, con base en unidades de accesorio por cada casa.	Recolección de información de cada elemento previsto para consumo hidráulico instalado en cada casa y tabulación de los valores en hojas de Excel.	Microsoft Excel LTSC Professional Plus 2021.
	Consumo eléctrico	KWh	Cantidad de kilovatios utilizados por un artefacto eléctrico por el periodo de una hora.	Medición a ser realizada en los puntos de conexión de los conductores eléctricos de alimentación del sistema de bombeo.	Pinza Amperimétrica Fluke 336

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Definir el sistema de abastecimiento ideal, por medio de cálculos hidráulicos para garantizar la distribución de agua y el aprovechamiento de la instalación existente.	Diámetros de tubería	mm (equivalencia en pulgadas)	Se refiere al dimensionamiento de la línea recta entre dos puntos que unen una circunferencia.	Mediante la utilización de fórmulas y cálculos matemáticos.	Fórmulas brindadas por el CIHSE versión 2017 y la Norma Técnica para el Diseño y Construcción de Sistemas de Agua Potable versión 2017.
	Altitud de los distintos puntos de consumo y de la captación	Metros sobre el nivel del mar	Es la unidad de medida estándar de altitud para describir elevaciones de un lugar con respecto del nivel medio del mar en ese lugar	Se obtienen la latitud y longitud de cada punto de consumo para obtener la respectiva altitud por medio de una aplicación	Con la ayuda de la plataforma Google Earth™ se obtiene la ubicación exacta y la altitud de cada uno de los puntos de interés
	Piezas sanitarias	Unidades	Cantidad establecida para piezas únicas o múltiples piezas únicas de un mismo elemento	Conteo manual de la cantidad de piezas en cada punto de consumo y tabulación de los valores en hojas de Excel.	Microsoft Excel LTSC Professional Plus 2021.
	Población	Personas	Cantidad de personas que habitan en una determinada ubicación en un tiempo específico.	Se realiza una consulta en cada casa del número de personas que habitan y tabulación de los valores en hojas de Excel.	Microsoft Excel LTSC Professional Plus 2021.
	Caudal	L/s	Cantidad de fluido (volumen) que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.	Medición del tiempo que toma en llenar un recipiente de 8 L.	Recipiente calibrado a 8 L, aplicación cronometro sistema operativo iOS versión 16.5

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Definir el sistema de potabilización adecuado, mediante una evaluación de las tecnologías existentes utilizando los parámetros de uso y mantenimiento, para garantizar la potabilidad del recurso hídrico para el consumo humano.	Turbiedad	UNT	Sedimentos o materia suspendida presentes en el agua.	Prueba de análisis físico-químico.	Resultados de pruebas de laboratorio.
	Olor	Aceptable	Mínima cantidad perceptible de olor en una muestra de agua	Prueba de análisis físico-químico.	Resultados de pruebas de laboratorio.
	Sabor	Aceptable	Mínima cantidad perceptible de un sabor en una muestra de agua.	Prueba de análisis físico-químico.	Resultados de pruebas de laboratorio.
	Cloro residual libre	mg/L	Cantidad de cloro presente en la muestra de agua.	Prueba de análisis físico-químico.	Resultados de pruebas de laboratorio.
	Coliformes Fecales	NMP/100 mL UFC/100 mL	Indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano	Prueba de análisis Microbiológico.	Resultados de pruebas de laboratorio.
	Escherichia Coli	NMP/100 mL UFC/100mL	Bacteria presente frecuentemente en el intestino distal de los organismos de sangre caliente	Prueba de análisis Microbiológico.	Resultados de pruebas de laboratorio.
Generar un plan de mantenimiento preventivo con base en el análisis de las descripciones técnicas y tiempo de uso del sistema de bombeo; que permita un continuo funcionamiento y una prolongación de la vida útil de los equipos instalados.	Frecuencia en la realización de las tareas.	Horas de servicio	Se refiere a establecer una revisión sistemática y bajo criterios técnicos necesarios a los elementos para evitar averías ocasionadas por uso o paso del tiempo.	Realizar una lista de las actividades necesarias para el mantenimiento del sistema con base al manual del fabricante	Manuales del fabricante Microsoft Word LTSC Professional Plus 2021.
	Duración de la realización de las tareas.	Minutos	Tiempo de realización de cada actividad.	Realizar una lista de las actividades necesarias para el mantenimiento del sistema con base al manual del fabricante	Manuales del fabricante Microsoft Word LTSC Professional Plus 2021.
	Número de actividades a realizar.	Tareas	El número de actividades por realizar.	Realizar una lista de las actividades necesarias para el mantenimiento del sistema con base al manual del fabricante	Manuales del fabricante Microsoft Word LTSC Professional Plus 2021.

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Evaluar el estado y diseño del actual sistema de alimentación eléctrica para el sistema de bombeo, con base en el código eléctrico vigente con el fin de salvaguardar la integridad física de las personas que se vean involucradas en el uso y mantenimiento del sistema y del sistema propiamente dicho.	Intensidad de corriente eléctrica	A	La intensidad de corriente eléctrica se define como la cantidad de carga eléctrica que pasa a través de un conductor eléctrico por unidad de tiempo.	Medición a ser realizada en los puntos de conexión de los conductores eléctricos de alimentación del sistema de bombeo.	Pinza Amperimétrica Fluke 336
	Tensión eléctrica	V	Magnitud física que representa la diferencia de potencial eléctrico que puede existir entre dos puntos concretamente definidos en un circuito.	Medición a ser realizada en los puntos de conexión de los conductores eléctricos de alimentación del sistema de bombeo.	Pinza Amperimétrica Fluke 336
	Canalización eléctrica	m	Distancia del recorrido de los conductores eléctricos.	Medición con cinta métrica de la distancia que recorren los conductores eléctricos.	Cinta métrica Stanley (951B) 8m
	Calibre de los conductores eléctricos	AWG	Estándar de referencia que establece las dimensiones de los conductores eléctricos según el consumo de un artefacto.	Mediante las medidas de consumo eléctrico y cálculos matemáticos según código eléctrico.	Pinza Amperimétrica Fluke 336. Código eléctrico.
Estimar el costo de adquisición, instalación, puesta en marcha y operación del sistema de abastecimiento; con base en el diseño propuesto, para una posible implementación del mismo.	Materiales de instalación.	Colones	Valor total de elementos necesarios a ser utilizados en el diseño hidráulico.	Contabilización del costo de todos los elementos requeridos.	Cotizaciones Microsoft Excel LTSC Professional Plus 2021.
	Puesta en marcha	Colones	Valor total del servicio de instalación y puesta en marcha.	Contabilización del costo del servicio de instalación y puesta en marcha	Cotizaciones Microsoft Excel LTSC Professional Plus 2021
	Equipos	Colones	Cantidad de dinero necesaria para la adquisición de los equipos requeridos.	Contabilización del costo de los equipos requeridos.	Cotizaciones Microsoft Excel LTSC Professional Plus 2021
	Operación	Colones	Valor total de los elementos requeridos para el funcionamiento de un sistema en su etapa de operación.	Contabilización del costo de insumos y del servicio de mantenimiento.	Cotizaciones Microsoft Excel LTSC Professional Plus 2021

Fuente Elaboración propia

3.1.2. Instrumentos

Con el fin de llevar a cabo un desarrollo estructurado y que a su vez permita la recolección eficiente de datos, con los cuales se logren tomar decisiones que reflejen un criterio técnico, se establece la siguiente configuración de acciones.

El primer elemento a evaluar serán las dimensiones tanto del tanque de captación como del tanque utilizado para la distribución, con esto se busca encontrar cuál es la capacidad volumétrica de ambos elementos, que son de fundamental importancia para el sistema.

Seguidamente, se lleva a cabo una medición del consumo hidráulico que se realiza, mediante la medición de la cantidad de agua que fluye a través del tanque de distribución por un periodo de 24 horas, lo que equivale a un día de funcionamiento de todos los puntos de consumo. Posteriormente se hará un levantamiento de presiones en diferentes puntos del sistema, con el fin de evaluar el diferencial de presión presente a lo largo del recorrido.

El siguiente paso a evaluar será el consumo eléctrico, este debe ser realizado por medio de mediciones con una pinza amperimétrica, este debe ser medido tomando los datos de tensión eléctrica y corriente eléctrica durante el funcionamiento de la bomba. Además, deberá ser contemplado el estado de los materiales de la canalización eléctrica y el calibre de los conductores eléctricos, así como el estado de las conexiones actuales.

Una vez realizadas las anteriores mediciones, se debe llevar a cabo el dimensionamiento de la tubería, tanto en diámetro como en extensión, esto debe realizarse para los diferentes segmentos de tubería que presenta el sistema, en el tramo que comprende la captación de la bomba, en el tramo establecido de la descarga de la bomba al tanque de distribución y a su vez en los tramos de distribución a cada uno de los puntos de consumo presentes. Como complemento a la anterior medición, se deben tomar las diferencias de altitud de los puntos de consumo con respecto al tanque de distribución, además debe establecerse el diferencial de altitudes del tanque de captación con el tanque de distribución.

Habiendo tomado las dimensiones anteriores, se procede a recolectar la información acerca de las piezas sanitarias presentes, tales como lavatorios, pilas, inodoros y duchas, esto en cada uno de los puntos de consumo, mediante un censo en el cual también se procede a tomar la información de las personas que habitan dicho punto de consumo.

A continuación, se deberá realizar una evaluación de la calidad del agua, por medio de un estudio técnico realizado a través de una prueba de análisis físico-químico, se obtendrán los valores

de turbiedad, olor, sabor y cloro residual, además se debe realizar una prueba de análisis microbiológico, la cual nos debe entregar el resultado de la evaluación de coliformes fecales y de escherichia coli presentes en el agua.

Posteriormente, se generará un plan de mantenimiento para el sistema de mantenimiento, el cual debe ser realizado con base en la frecuencia de la realización de las tareas, duración de estas y el número de actividades a realizar, con el fin de permitir una prolongación del equipo.

Y para finalizar, se elaborará una estimación de los costos, tanto de los materiales de instalación, puesta en marcha, equipos a ser adquiridos, así como de la operación del sistema, esto debe ser llevado a cabo mediante las cotizaciones que soliciten a los diferentes proveedores.

4. Análisis de resultados

Con el fin de evidenciar los elementos presentes encontrados en el sistema de abastecimiento, además de demostrar mediante los resultados obtenidos a lo largo de las diferentes etapas del diseño, y obedeciendo a los objetivos planteados inicialmente por el presente trabajo; es que se establece el actual apartado del análisis de resultados.

4.1. Volumen

4.1.1. Tanque de captación

Para el sistema de captación, se cuenta con un tanque fabricado en su totalidad en cemento, con bloques de 12cm de ancho x 20cm de alto x 40cm de largo para sus cuatro paredes, las mismas poseen un largo de 2.5 metros cada una en el interior del tanque, formando una estructura cuadrangular. Según las consultas realizadas, debido a que dicha construcción fue realizada hace ya más de 20 años y no cuenta con planos, esta cuenta con una viga de piso, además tanto en la loza de piso como de techo y en sus cuatro paredes, posee varilla corrugada de construcción. Cabe mencionar que la altura libre dentro del tanque es de 1,6 m, por lo cual cuenta con un volumen de 10000 L.

Dicho tanque posee una abertura de aproximadamente 40 cm x 40 cm mediante la cual se realiza el ingreso al interior del tanque, prevista de una loza de cemento tipo tapa, por lo cual el ingreso al tanque es restringido, ya que esta se encuentra en la totalidad del tiempo cerrada, salvo en caso de mantenimiento. Además, cuenta con un boquete en el cual se ha previsto una tubería de hierro negro de 101,6 mm, 4 pulgadas por su equivalente conversión, para el constante rebalse del tanque, debido a que la ubicación del tanque se realizó en el punto inmediato donde la naciente florece a la superficie. Dicho rebalse desecha un aproximado de 8324 L por hora, ya que la bomba se enciende en un promedio de 4 veces por hora y suministra al tanque de almacenamiento 1720 L cada hora durante los periodos de consumo, los cuales en promedio constituyen 17 horas al día, lo cual representa un total de 141508 L, y durante los periodos de no consumo se desechan un total de 10044 L por hora lo cual constituye un 70308 L por las restantes 7 horas del día, teniendo así un desecho total diario en promedio de 211816 L.

Cabe señalar que sobre la edificación del tanque se encuentra el cuarto de bombeo, por lo cual existe una estructura de alrededor de 5 metros de alto elaborada en madera y láminas de Zinc, con una puerta de ingreso, la cual se mantiene constantemente con candado, para efectos de seguridad, ya que en los alrededores se cuenta con presencia de niños.

El tanque de captación se encuentra en llenado constante por la naciente, la cual provee un caudal constantemente aproximado de 2,79 L/s, esta medición fue realizada tomando 15 veces el tiempo en que se llena un balde con capacidad de 8 L, y tomando el promedio del caudal, Volumen multiplicado por el tiempo, de las 15 mediciones.

	A	B	C
1	Tanque de Captación:		
2			
3		Alto (m)	1.6
4		Largo (m)	2.5
5		Ancho (m)	2.5
6		Volumen (m ³)	10

Figura 10 Calculo de Volumen para el tanque de captación

Elaboración propia

Tabla 4 Mediciones de Caudal (Q) naciente

Prueba	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)
1	2,87	8	2,79
2	2,95	8	2,71
3	2,80	8	2,86
4	2,83	8	2,83
5	2,94	8	2,72
6	2,78	8	2,88
7	2,94	8	2,72
8	2,86	8	2,80
9	2,88	8	2,78
10	2,92	8	2,74
11	2,90	8	2,76
12	2,85	8	2,81
13	2,80	8	2,86
14	2,90	8	2,76
15	2,87	8	2,79
		Q (L/s)	2,79

Fuente Elaboración propia

4.1.2. Tanque distribución

En el caso del tanque de distribución, este ya se encuentra instalado. El mismo cuenta con una capacidad volumétrica de 1100 L según las especificaciones del suplidor. Es importante resaltar que este cuenta con especificaciones que lo hacen apto para ser utilizado en el almacenamiento y distribución de agua para el consumo humano, ver anexo 1.

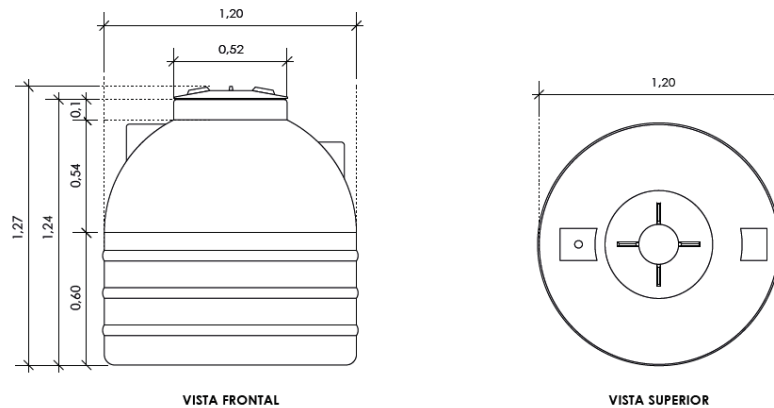


Figura 11 Dimensiones tanque de distribución

Elaboración Ecotank

Dicho tanque actualmente se encuentra alimentado por una bomba, la cual está entregando en el tanque, un caudal de 1,07 L/s.

Tabla 5 Mediciones de Caudal (Q) de la bomba

Prueba	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)
1	7,31	8	1,09
2	7,35	8	1,09
3	8,00	8	1,00
4	6,73	8	1,19
5	7,56	8	1,06
6	7,77	8	1,03
7	7,69	8	1,04
8	7,78	8	1,03
9	7,89	8	1,01
10	7,53	8	1,06
11	7,32	8	1,09
12	7,42	8	1,08
13	7,58	8	1,06
14	7,29	8	1,10
15	7,50	8	1,07
Q (L/s)			1,07

Fuente Elaboración propia

Con esto logramos ver que para llenar completamente los 1100 L del tanque necesitaríamos aproximadamente 17,2 minutos; sin embargo, el tanque actualmente cuenta con un sistema automático de encendido y apagado de la bomba, lo cual está diseñado para encender la bomba cuando el volumen de agua en el tanque alcance los 220 L, aproximadamente 20 cm de altura de

llenado del tanque, y apagarse al alcanzar un nivel de aproximadamente 650 L, lo cual es el equivalente de 60 cm de altura de llenado del tanque.

Teniendo en cuenta que el tanque de captación cuenta con una capacidad de 10 000 L, sabemos que el mismo tiene la capacidad de llenar a 650 L, 15,3 veces el tanque de distribución. Sin embargo, el tanque de captación se encuentra en llenado constante por la naciente, la cual provee un caudal constante aproximado de 2,79 L/s, lo que nos indica que el abastecimiento de la bomba al tanque de distribución se encuentra cubierto.

4.2. Consumo hidráulico

Según establece el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones de nuestro país, el cual al momento de realizar el presente trabajo se encuentra en la edición 2017, se hace un levantamiento de campo de los actuales elementos instalados en cada una de las casas y cantidad de personas que habitan cada una de ellas, para tal fin se genera la siguiente nomenclatura, cuyo único propósito es establecer un orden topográfico de la distribución del sistema.

Tabla 6 Nomenclatura según tramos de tubería

Tramo	Ubicación - Casa	Personas
J-10	Casa 10	8 personas
J-9	Casa 9	5 personas
I-J	Tubería de distribución	
I-8	Casa 8	12 personas
H-I	Tubería de distribución	
H-7	Casa 7	5 personas
G-H	Tubería de distribución	
G-6	Casa 6	6 personas
F-G	Tubería de distribución	
F-5	Casa 5	4 personas
E-F	Tubería de distribución	
E-4	Casa 4	7 personas
A-E	Tubería de distribución	
D-3	Casa 3	1 persona
C-D	Tubería de distribución	
C-2	Casa 2	6 personas
B-C	Tubería de distribución	
B-1	Casa 1	4 personas
A-B	Tubería de distribución	

Fuente Elaboración propia



Figura 12 Ubicación Geográfica y distribución

Elaboración Google Earth™

Con el fin de evidenciar dicho levantamiento realizado, se genera la siguiente tabla, en la cual se detalla por cada casa la cantidad de piezas sanitarias presentes, además por medio de la tabla 6.1 del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones en la columna Unidades de Accesorio para Uso Privado, se determina el equivalente a unidades accesorio de cada elemento presente; de igual manera utilizando la tabla 6.4 del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, se establece el caudal de diseño equivalente para cada tramo de tubería, realizando la totalización por punto de consumo de las unidades accesorio. Cabe señalar que para los tramos de tubería de distribución en que no se encuentra ningún punto de consumo, se suma la totalidad de

unidades accesorio del punto de consumo inmediatamente anterior junto con la suma de unidades accesorio de todos los puntos anteriores, utilizando las fórmulas para $u.a.<100$ y $1200>u.a.>100$.

Tabla 7 Cálculo de caudales de diseño

Cálculo de caudales de diseño						
Del artículo 6.3.3-4, inciso d y la tabla 6.4 CIHSE						
Tramo	Pieza sanitaria	Cantidad	Consumo /U.A.	Subtotal (U.A.)	Total (U.A.)	Q _{diseño} (l/s)
J-10	Inodoro	2	3	6	22	1,03
	Lavatorio	2	1	2		
	Ducha	2	2	4		
	Fregadero	2	2	4		
	Lavandería	2	2	4		
	Llave riego	1	2	2		
J-9	Inodoro	2	3	6	14	0,76
	Lavatorio	2	1	2		
	Ducha	1	2	2		
	Fregadero	1	2	2		
	Lavandería	1	2	2		
I-J	N/A	-	J-9+J-10	-	36	1,43
I-8	Inodoro	3	3	9	32	1,32
	Lavatorio	3	1	3		
	Ducha	3	2	6		
	Fregadero	3	2	6		
	Lavandería	3	2	6		
	Llave riego	1	2	2		
H-I	N/A	-	J-9+J-10+I-8	-	68	2,19
H-7	Inodoro	2	3	6	20	0,96
	Lavatorio	2	1	2		
	Ducha	2	2	4		
	Fregadero	2	2	4		
	Lavandería	2	2	4		
G-H	N/A	-	J-9+J-10+I-8+H-7	-	88	2,60
G-6	Inodoro	2	3	6	20	0,96
	Lavatorio	2	1	2		
	Ducha	2	2	4		
	Fregadero	2	2	4		
	Lavandería	2	2	4		
F-G	N/A	-	J-9+J-10+I-8+H-7+G-6	-	108	2,92

Fuente Elaboración propia

Tabla 7 (continuación) Cálculo de caudales de diseño

Cálculo de caudales de diseño						
Del artículo 6.3.3-4, inciso d y la tabla 6.4 CIHSE						
Tramo	Pieza sanitaria	Cantidad	Consumo /U.A.	Subtotal (U.A.)	Total (U.A.)	Q diseño (l/s)
F-5	Inodoro	1	3	3	10	0,61
	Lavatorio	1	1	1		
	Ducha	1	2	2		
	Fregadero	1	2	2		
	Lavandería	1	2	2		
E-F	N/A	-	J-9+J-10+I-8+H-7+G-6+F-5	-	118	3,06
E-4	Inodoro	2	3	6	22	1,03
	Lavatorio	2	1	2		
	Ducha	2	2	4		
	Fregadero	2	2	4		
	Lavandería	2	2	4		
	Llave riego	1	2	2		
D-E	N/A	-	J-9+J-10+I-8+H-7+G-6+F-5+E-4	-	140	3,36
D-3	Inodoro	1	3	3	9	0,565
	Ducha	1	2	2		
	Fregadero	1	2	2		
	Lavandería	1	2	2		
C-D	N/A	-	J-9+J-10+I-8+H-7+G-6+F-5+E-4+D-3	-	149	3,49
C-2	Inodoro	2	3	6	20	0,96
	Lavatorio	2	1	2		
	Ducha	2	2	4		
	Fregadero	2	2	4		
	Lavandería	2	2	4		
B-C	N/A	-	J-9+J-10+I-8+H-7+G-6+F-5+E-4+D-3+C-2	-	169	3,76
B-1	Inodoro	1	3	3	10	0,61
	Lavatorio	1	1	1		
	Ducha	1	2	2		
	Fregadero	1	2	2		
	Lavandería	1	2	2		
A-B	N/A	-	J-9+J-10+I-8+H-7+G-6+F-5+E-4+D-3+C-2+B-1	-	179	3,89

Fuente Elaboración propia

TABLA 6.1 DIÁMETROS, PRESIONES Y CAUDALES⁵ MÍNIMOS REQUERIDOS EN LOS PUNTOS DE ALIMENTACIÓN DE LAS PIEZAS SANITARIAS

Accesorio	Diámetro Mínimo ¹ (mm)	Presión Mínima ² (mca)	Unidades de accesorio (u.a)	
			Uso Privado	Uso Público
Tina de baño	12	2	2	4
Bidé	12	3	1	2
Ducha	12	2	2	4
Fregadero				
Doméstico	12	2	2	4
Comercial	12	2	-	4
Clínicas	12	4	-	8
Inodoro				
Con Tanque	12	2	3	5
Con fluxómetro ³	32	7 a 14	6	10
Fuente para beber	12	2,5	-	1
Lavatorio	12	2	1	2
Lavadora	12	3,5	4	-
Llave para riego (jardín)	12	10	2	2
Mingitorios				
Con tanque	18	2	-	3
Con fluxómetro	18	5 a 10	4 a 5	5 a 6
Lavaplatos doméstico	12	2	1,5	
Pileta de lavar	12	2	2	4

Figura 13 Tabla 6.1 Código Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones

Elaboración CFIA

TABLA 6.4 ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE LA DEMANDA (L/s) A PARTIR DE LAS UNIDADES DE ACCESORIOS

Para sistemas en donde predominan los tanques de lavado	
$u.a. < 100$	$Q = 0,13 (u.a.)^{0,669}$
$1200 > u.a. > 100$	$Q = 0,0145 (u.a.) + 1,39 - 2,83 \times 10^{-6} (u.a.)^2$
Para sistemas en donde predominan los fluxómetros	
$u.a. < 150$	$Q = 0,68 (u.a.)^{0,4}$
$1200 > u.a. > 100$	$Q = 0,0122 (u.a.) + 3,37 - 2,15 \times 10^{-6} (u.a.)^2$
Para ambos sistemas	
$u.a. > 1200$	$Q = 0,121 (u.a.)^{0,676}$

Figura 14 Tabla 6.4 Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones

Elaboración CFIA, Uniform Plumbing Code (UPC) y Código venezolano

Habiendo obtenido el caudal de diseño para cada uno de los tramos, se procede a calcular el diámetro interno real de cada tramo de tubería, para tales efectos se utiliza como velocidad de diseño máxima 2 m/s, la cual está establecida en el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones en el artículo 6.3.2-1, evitando así el golpe de ariete en las tuberías. Además, haciendo uso de la Ecuación 9, con el fin de establecer el diámetro interno estimado según la velocidad nominal de 2 m/s, utilizamos las dimensiones dadas por el fabricante establecidas en la tabla 6 del presente documento, lo cual permite establecer el diámetro interno real mediante la selección de un diámetro de tubería interno mayor al diámetro interno estimado; mediante este método logramos definir para cada sección de tubería un diámetro nominal (DN) de tubería comercial que será el utilizado en el diseño.

Tabla 8 Dimensiones de Tubería

DN (mm)	DN (pulgadas)	D externo (mm)	Espesor (mm)	D interno (mm)	Cedula
13	1/2	21,34	1,57	18,20	SDR 13.5
18	3/4	26,67	1,57	23,53	SDR 17
25	1	33,40	1,52	30,36	SDR 26
31	1 1/4	42,16	1,63	38,90	SDR 26
38	1 1/2	48,26	1,85	44,56	SDR 26
50	2	60,32	2,31	55,70	SDR 26
62	2 1/2	73,02	2,79	67,44	SDR 26
75	3	88,90	3,43	82,04	SDR 26
100	4	114,30	4,39	105,52	SDR 26

Fuente Elaboración Durman

Tabla 9 Cálculo de Diámetro Interno Real

Cálculo de diámetros							
Tramo	Q diseño (l/s)	V diseño (m/s)	D interno estimado (mm)	DN (mm)	DN (pulg)	SDR	D interno real (mm)
J-10	0,51	2	17,98	25	1	SDR 26	30,36
J-9	0,76	2	21,99	18	3/4	SDR 17	23,53
I-J	1,43	2	30,16	25	1	SDR 26	30,36
I-8	1,32	2	29,00	25	1	SDR 26	30,36
H-I	2,19	2	37,32	38	1 1/2	SDR 26	44,56
H-7	0,96	2	24,78	25	1	SDR 26	30,36
G-H	2,60	2	40,68	38	1 1/2	SDR 26	44,56
G-6	0,96	2	24,78	25	1	SDR 26	30,36
F-G	2,92	2	43,14	38	1 1/2	SDR 26	44,56
F-5	0,61	2	19,65	18	3/4	SDR 17	23,53
E-F	3,06	2	44,15	38	1 1/2	SDR 26	44,56
E-4	1,03	2	25,58	25	1	SDR 26	30,36
D-E	3,36	2	46,28	50	2	SDR 26	55,7
D-3	0,57	2	18,97	18	3/4	SDR 17	23,53
C-D	3,49	2	47,12	50	2	SDR 26	55,7
C-2	0,96	2	24,78	25	1	SDR 26	30,36
B-C	3,76	2	48,92	50	2	SDR 26	55,7
B-1	0,61	2	19,65	18	3/4	SDR 17	23,53
A-B	3,89	2	49,79	50	2	SDR 26	55,7

Fuente Elaboración Propia

Al momento de seleccionar los diámetros reales de las tuberías, se puede observar que para el segmento H-I, el diámetro nominal mayor más próximo sería un diámetro de 38mm, lo cual lo haría el único segmento con este diámetro, es por tal situación que se toma la decisión de utilizar el diámetro nominal mayor siguiente, con el único fin de mantener uniformidad en el tramo de tubería de distribución que va desde el punto E hasta el punto I, y con esto evitar el desperdicio de tubería remanente.

Como siguiente paso, se realiza el cálculo del coeficiente K para los accesorios presentes en la tubería previo al ingreso de cada punto de consumo, para este fin se establece que dichos accesorios forman parte de las tuberías de los tramos comprendidos desde la tubería de distribución a cada uno de los puntos de consumo. Se hace un levantamiento en campo de cada accesorio presente y se realiza la tabulación de la totalidad de los datos encontrados en cada segmento y haciendo uso de la tabla 6.7 del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, Coeficientes de Resistencia (K) en Válvulas y Accesorios, según el respectivo diámetro para cada accesorio.

TABLA 6.7 COEFICIENTES DE RESISTENCIA (K)
EN VÁLVULAS Y ACCESORIOS

Accesorio	Diámetro nominal (mm)						
	12	18	25	32	38	50	62
	Coeficiente K						
Codo roscado 90°	2,10	1,69	1,44	1,28	1,16	0,99	0,88
Codo roscado 90° (R.L.)	1,29	0,92	0,73	0,61	0,52	0,41	0,35
Codo bridado 90°	-	-	0,43	0,41	0,39	0,38	0,35
Codo bridado 90° (R.L.)	-	-	0,41	0,37	0,34	0,30	0,26
Codo roscado 45°	0,37	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30
Codo bridado 45°	-	-	0,25	0,24	0,22	0,20	0,19
Codo roscado 180°	2,10	1,69	1,45	1,29	1,17	1,00	0,89
Codo bridado 180°	-	-	0,42	0,40	0,38	0,35	0,33
Unión en T roscada (F.L.)	0,93	0,93	0,91	0,93	0,93	0,93	0,93
Unión en T roscada (F.T.)	2,69	2,49	2,23	2,05	1,92	1,72	1,58
Unión en T bridada (F.L.)	-	-	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17
Unión en T bridada (F.T.)	-	-	0,96	0,92	0,88	0,81	0,77
Válvula globo roscada (A)	13,09	10,67	9,23	8,25	7,52	6,50	5,61
Válvula globo bridada (A)	-	-	12,40	11,14	10,20	6,89	7,96
Válvula compuerta roscada (A)	0,34	0,26	0,21	0,18	0,16	0,13	0,11
Válvula compuerta bridada (A)	-	-	0,74	0,58	0,47	0,34	0,27
Válvula antirretorno roscada	7,11	6,84	6,08	4,56	4,17	3,63	3,25
Válvula antirretorno bridada	-	-	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Válvula angular roscada	9,72	6,23	4,54	3,55	2,91	2,12	1,66
Válvula angular bridada	-	-	3,84	3,43	3,13	2,71	2,42
Válvula de pie con colador	-	-	2,75	2,46	2,25	1,95	1,75
Acoples o Uniones	0,12	0,09	0,06	0,07	0,08	0,05	0,06

Figura 15 Tabla 6.7 Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones

Elaboración CFIA

Tabla 10 Cálculo de coeficiente K para accesorios

Cálculo de K						
Tramo	DN (mm)	Accesorio	Cantidad	K accesorio	Subtotal	Total
J-10	25	Válvula de bola	1	9,23	9,23	10,67
		Codo 90°	1	1,44	1,44	
J-9	18	Válvula de bola	1	10,67	10,67	13,29
		Codo 90°	1	1,69	1,69	
		Te	1	0,93	0,93	
I-8	25	Válvula de bola	2	9,23	18,46	24,6
		Codo 90°	3	1,44	4,32	
		Te	2	0,91	1,82	
H-7	25	Válvula de bola	1	9,23	9,23	14,46
		Codo 90°	3	1,44	4,32	
		Te	1	0,91	0,91	
G-6	25	Válvula de bola	1	9,23	9,23	13,93
		Codo 90°	2	1,44	2,88	
		Te	2	0,91	1,82	
F-5	18	Válvula de bola	1	10,67	10,67	14,98
		Codo 90°	2	1,69	3,38	
		Te	1	0,93	0,93	
E-4	25	Válvula de bola	1	9,23	9,23	15,37
		Codo 90°	3	1,44	4,32	
		Te	2	0,91	1,82	
D-3	18	Válvula de bola	1	10,67	10,67	13,29
		Codo 90°	1	1,69	1,69	
		Te	1	0,93	0,93	
C-2	25	Válvula de bola	1	9,23	9,23	15,37
		Codo 90°	3	1,44	4,32	
		Te	2	0,91	1,82	
B-1	18	Válvula de bola	1	10,67	10,67	13,29
		Codo 90°	1	1,69	1,69	
		Te	1	0,93	0,93	

Fuente Elaboración Propia

Una vez que fue encontrado el valor del coeficiente K para cada tramo de tubería, se continúa con el análisis de la ruta crítica; para ello utilizamos como valor de la gravedad 9.81 m/s^2 , como valor de rugosidad (ϵ) de la tubería de PVC 0.0015 mm , densidad (ρ) del agua a 20°C 998 kg/m^3 , viscosidad dinámica (μ) del agua a 20°C $0.00102 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, para el valor de la viscosidad absoluta (ν) aplicamos el cociente de la viscosidad dinámica sobre la densidad del agua a 20°C , obteniendo así un valor de 1.022×10^{-6} . Para obtener el número de Reynolds aplicamos la fórmula establecida como la multiplicación del valor de la densidad por el valor de la velocidad del fluido por el diámetro de la tubería, esto dividido entre el valor de la viscosidad dinámica.

Seguidamente se debe encontrar el valor del factor de rugosidad absoluta dividiendo el valor de rugosidad entre el diámetro de la tubería. Para el cálculo del factor de fricción se debe aplicar la Ecuación 13, ya que todos los segmentos de tubería presentan un valor de Reynolds entre 2×10^4 y 2×10^6 . En el caso del cálculo de las pérdidas, la ecuación 10 es utilizada. El mismo Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones establece con el fin de afinar los cálculos, la adición de un valor de 10% adicional de pérdidas en metros de columna de agua por concepto de accesorios no contemplados. Posterior a esto, es preciso evidenciar el cálculo de las pérdidas en metros de columna de agua por la incidencia de los accesorios presentes en la tubería; para esto se utiliza la fórmula que multiplica el valor del coeficiente K por el cuadrado de la velocidad dividido entre dos veces la gravedad. Para efectos de la altura geométrica se hace un levantamiento de campo del diferencial de altura presente en cada uno de los puntos de consumo, se toma como punto de referencia o valor 0 la salida del tanque de distribución, debido a que las alturas de dichos puntos de consumo se encuentran por debajo del nivel de referencia, se toman como un valor negativo. Como valor de Presión requerida, se establece según el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias un valor requerido como mínimo de 10 metros de columna de agua en cada uno de los puntos de consumo. El valor de presión estática se establece de la suma de los valores de las pérdidas, 10% del valor de las pérdidas por accesorios no contemplados, pérdidas totales rugosidad de los accesorios, presión por altura geométrica más la Presión requerida. Ya como último cálculo a ser realizado, se encuentra la Presión dinámica dada en metros de columna de agua, para la cual se utiliza la fórmula de la velocidad al cuadrado entre dos veces la gravedad.

Tabla 11 Cálculos para determinar Ruta Crítica

Tramo	Q diseño (l/s)	D interno real (mm)	g (m/s ²)	Largo (m)	ε (mm)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa-s)	v (m ² /s)	V real (m/s)	Re	ε/D	f	h _f (mca)	h _f 10% por accesorios (mca)	k	h _f accesorios por k (mca)	H geométrica (mca)	P requerida (mca)	P estática (mca)	P dinámica (mca)
J-10	1,03	30,36	9,81	3	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,42	42185,47	4,94E-05	0,02	0,22	0,02	10,67	1,10	-16,00	10,00	-4,66	0,10
J-9	0,76	23,53	9,81	2	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,75	40227,36	6,37E-05	0,02	0,29	0,03	13,29	2,07	-17,00	10,00	-4,61	0,16
I-J	1,43	30,36	9,81	6	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,97	58647,36	4,94E-05	0,02	0,80	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	0,20
I-8	1,32	30,36	9,81	5	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,82	54203,51	4,94E-05	0,02	0,58	0,06	24,60	4,17	-18,00	10,00	-3,19	0,17
H-I	2,19	44,56	9,81	8	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,40	61148,68	3,37E-05	0,02	0,37	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,10
H-7	0,96	30,36	9,81	2	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,33	39579,58	4,94E-05	0,02	0,13	0,01	14,46	1,31	-20,00	10,00	-8,55	0,09
G-H	2,60	44,56	9,81	3	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,67	72660,36	3,37E-05	0,02	0,19	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,14
G-6	0,96	30,36	9,81	2	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,33	39579,58	4,94E-05	0,02	0,13	0,01	13,93	1,26	-18,00	10,00	-6,59	0,09
F-G	2,92	44,56	9,81	7	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,87	81718,95	3,37E-05	0,02	0,54	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	0,18
F-5	0,61	23,53	9,81	4	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,40	32118,99	6,37E-05	0,02	0,39	0,04	14,98	1,49	-17,00	10,00	-5,09	0,10
E-F	3,06	44,56	9,81	6	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,96	85594,29	3,37E-05	0,02	0,50	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,20
E-4	1,03	30,36	9,81	3	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,42	42185,63	4,94E-05	0,02	0,22	0,02	15,37	1,58	-17,00	10,00	-5,18	0,10
D-E	3,36	55,7	9,81	10	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,38	75250,60	2,69E-05	0,02	0,34	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	0,10
D-3	0,57	23,53	9,81	10	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,30	29932,99	6,37E-05	0,02	0,86	0,09	13,29	1,15	-8,00	10,00	4,09	0,09
C-D	3,49	55,7	9,81	15	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,43	78004,71	2,69E-05	0,02	0,54	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,10
C-2	0,96	30,36	9,81	1	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,33	39579,58	4,94E-05	0,02	0,07	0,01	15,37	1,39	-5,00	10,00	6,46	0,09
B-C	3,76	55,7	9,81	5	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,54	84088,25	2,69E-05	0,02	0,21	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,12
B-1	0,61	23,53	9,81	1	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,40	32118,99	6,37E-05	0,02	0,10	0,01	13,29	1,32	-3,00	10,00	8,43	0,10
A-B	3,89	55,7	9,81	10	0,0015	998	0,001	1,02E-06	1,60	87111,03	2,69E-05	0,02	0,44	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	0,13

Fuente Elaboración Propia

Ahora bien, para definir la ruta crítica del sistema, esta se debe basar en el cálculo de la presión en la tubería de distribución sumado a la presión en el punto de consumo, más la presión dinámica del mismo punto de consumo; con los resultados de cada punto de consumo de este cálculo hacemos una comparativa y el punto con la mayor presión demandada, esto quiere decir el punto de consumo con el valor mayor, será el punto crítico de nuestro sistema. Mediante los cálculos realizados, se encuentra que el punto crítico en el sistema se trata del punto A-1, con una demanda de 9.011 mca, sin embargo se encuentran otros dos puntos, el A-2 y el A-3, que presentan una presión superior a 0, lo cual permite ver que tienen una demanda de presión que no cumple con el mínimo de 10 mca, en el punto A-8 se identifica una deficiencia de 0.423 mca de presión, para los demás puntos se puede evidenciar que la presión recibida alcanza el mínimo establecido por el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias.

Tabla 12 Definición de ruta crítica

Tabla resumen de presiones		
Ruta	H (mca)	H _{ruta crítica} (mca)
A-1	9,01	9,01
A-2	7,27	
A-3	5,49	
A-4	-3,39	
A-5	-2,75	
A-6	-3,58	
A-7	-5,42	
A-8	0,42	
A-9	-0,13	
A-10	-0,23	

Fuente Elaboración Propia

4.3.Rediseño

Como se pudo apreciar anteriormente, en los puntos de consumo 1, 2 y 3, no se consigue la presión mínima de servicio establecida en el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, en el artículo 6.3.1-2, de 10 mca, por lo cual se requiere hacer un rediseño del sistema, para así lograr alcanzar esta presión mínima de servicio.

Con tal fin, se hace una división de las tuberías de abastecimiento, agrupando los puntos de consumo 1, 2 y 3 en un ramal de distribución y manteniendo los puntos de consumo del 4 al 10 agrupados en un distinto ramal de distribución. Una vez se ha establecido esta medida, se procede a

realizar los cálculos nuevamente, dando como resultado para el caudal de diseño para el ramal de distribución 1 3,36 L/s y para el ramal de distribución 2 1,51 L/s, según se puede observar en la Tabla 13.

Tabla 13 Cálculo de caudales de rediseño

Cálculo de caudales de diseño						
Del artículo 6.3.3-4, inciso d y la tabla 6.4, CIHSE						
Tramo	Pieza sanitaria	Cantidad	Consumo /U.A.	Subtotal (U.A.)	Total (U.A.)	Q _{diseño} (l/s)
Ramal Distribución 1						
J-10	Inodoro	2	3	6	22	1,03
	Lavatorio	2	1	2		
	Ducha	2	2	4		
	Fregadero	2	2	4		
	Lavandería	2	2	4		
	Llave riego	1	2	2		
J-9	Inodoro	2	3	6	14	0,76
	Lavatorio	2	1	2		
	Ducha	1	2	2		
	Fregadero	1	2	2		
	Lavandería	1	2	2		
I-J	N/A	-	J-9+J-10	-	36	1,43
I-8	Inodoro	3	3	9	32	1,32
	Lavatorio	3	1	3		
	Ducha	3	2	6		
	Fregadero	3	2	6		
	Lavandería	3	2	6		
	Llave riego	1	2	2		
H-I	N/A	-	J-9+J-10+I-8	-	68	2,19
H-7	Inodoro	2	3	6	20	0,96
	Lavatorio	2	1	2		
	Ducha	2	2	4		
	Fregadero	2	2	4		
	Lavandería	2	2	4		
G-H	N/A	-	J-9+J-10+I-8+H-7	-	88	2,60
G-6	Inodoro	2	3	6	20	0,96
	Lavatorio	2	1	2		
	Ducha	2	2	4		
	Fregadero	2	2	4		
	Lavandería	2	2	4		

Fuente Elaboración Propia

Tabla 13 (continuación) Cálculo de caudales de rediseño

Cálculo de caudales de diseño						
Del artículo 6.3.3-4, inciso d y la tabla 6.4, CIHSE						
Tramo	Pieza sanitaria	Cantidad	Consumo /U.A.	Subtotal (U.A.)	Total (U.A.)	Q _{diseño} (l/s)
F-G	N/A	-	J-9+J-10+I-8+H-7+G-6	-	108	2,92
F-5	Inodoro	1	3	3	10	0,61
	Lavatorio	1	1	1		
	Ducha	1	2	2		
	Fregadero	1	2	2		
	Lavandería	1	2	2		
E-F	N/A	-	J-9+J-10+I-8+H-7+G-6+F-5	-	118	3,06
E-4	Inodoro	2	3	6	22	1,03
	Lavatorio	2	1	2		
	Ducha	2	2	4		
	Fregadero	2	2	4		
	Lavandería	2	2	4		
	Llave riego	1	2	2		
A-E	N/A	-	J-9+J-10+I-8+H-7+G-6+F-5+E-4	-	140	3,36
Ramal Distribución 2						
D-3	Inodoro	1	3	3	9	0,565
	Ducha	1	2	2		
	Fregadero	1	2	2		
	Lavandería	1	2	2		
C-D	N/A	-	D-3	-	9	0,57
C-2	Inodoro	2	3	6	20	0,96
	Lavatorio	2	1	2		
	Ducha	2	2	4		
	Fregadero	2	2	4		
	Lavandería	2	2	4		
B-C	N/A	-	D-3+C-2	-	29	1,24
B-1	Inodoro	1	3	3	10	0,61
	Lavatorio	1	1	1		
	Ducha	1	2	2		
	Fregadero	1	2	2		
	Lavandería	1	2	2		
A-B	N/A	-	D-3+C-2+B-1	-	39	1,51

Fuente Elaboración Propia

A partir de estos resultados, se logra encontrar el diámetro interno, utilizando de igual manera para el cálculo los 2 m/s como velocidad de diseño y las especificaciones de diámetro interno, externo y grosor de pared de cada uno de los diámetros comerciales.

Tabla 14 Cálculo de Diámetro Interno Real en Rediseño

Cálculo de diámetros							
Tramo	Q diseño (l/s)	V diseño (m/s)	D interno estimado (mm)	DN (mm)	DN (pulg)	SDR	D interno real (mm)
Ramal Distribución 1							
J-10	0,51	2	17,98	25	1	SDR 26	30,36
J-9	0,76	2	21,99	25	1	SDR 26	30,36
I-J	1,43	2	30,16	25	1	SDR 26	30,36
I-8	1,32	2	29,00	25	1	SDR 26	30,36
H-I	2,19	2	37,32	31	1 1/4	SDR 26	38,9
H-7	0,96	2	24,78	25	1	SDR 26	30,36
G-H	2,60	2	40,68	38	1 1/2	SDR 26	44,56
G-6	0,96	2	24,78	25	1	SDR 26	30,36
F-G	2,92	2	43,14	38	1 1/2	SDR 26	44,56
F-5	0,61	2	19,65	18	3/4	SDR 17	23,53
E-F	3,06	2	44,15	38	1 1/2	SDR 26	44,56
E-4	1,03	2	25,58	25	1	SDR 26	30,36
A-E	3,36	2	46,28	50	2	SDR 26	55,7
Ramal Distribución 2							
D-3	0,57	2	18,97	18	3/4	SDR 17	23,53
C-D	0,57	2	18,97	18	3/4	SDR 17	23,53
C-2	0,96	2	24,78	25	1	SDR 26	30,36
B-C	1,24	2	28,06	25	1	SDR 26	30,36
B-1	0,61	2	19,65	18	3/4	SDR 17	23,53
A-B	1,51	2	30,98	31	1 1/4	SDR 26	38,9

Fuente Elaboración Propia

Como podemos observar en los tramos J-10 y J-9, el diámetro comercial superior inmediato al calculado no fue utilizado, el motivo de este cambio se debe a que utilizando el diámetro comercial inmediatamente superior, no se alcanzaría el valor mínimo de presión requerido en el ingreso a cada punto de consumo; para alcanzar dicho valor mínimo se utiliza el segundo valor inmediatamente superior, ya que con este sí se alcanza el valor mínimo de presión establecido en el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, tal y como se puede evidenciar en la tabla 19.

Una vez que se calculó el valor del diámetro de tubería a ser utilizado, se realizó el cálculo de los valores del coeficiente K para los accesorios presentes en la tubería previo al ingreso de cada punto de consumo; para este fin se establece que dichos accesorios forman parte de las tuberías de

los tramos comprendidos desde la tubería de distribución hasta cada uno de los puntos de consumo, haciendo uso de la tabla 6.7 del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, Coeficientes de Resistencia (K) en Válvulas y Accesorios, según el respectivo diámetro para cada accesorio.

Tabla 15 Cálculo de coeficiente K para accesorios en Rediseño

Cálculo de K						
Tramo	DN (mm)	Accesorio	Cantidad	K accesorio	Subtotal	Total
J-10	25	Válvula de bola	1	9,23	9,23	10,67
		Codo 90°	1	1,44	1,44	
J-9	25	Válvula de bola	1	9,23	9,23	11,58
		Codo 90°	1	1,44	1,44	
		Te	1	0,91	0,91	
I-8	25	Válvula de bola	2	9,23	18,46	24,6
		Codo 90°	3	1,44	4,32	
		Te	2	0,91	1,82	
H-7	25	Válvula de bola	1	9,23	9,23	14,46
		Codo 90°	3	1,44	4,32	
		Te	1	0,91	0,91	
G-6	25	Válvula de bola	1	9,23	9,23	13,93
		Codo 90°	2	1,44	2,88	
		Te	2	0,91	1,82	
F-5	18	Válvula de bola	1	10,67	10,67	14,98
		Codo 90°	2	1,69	3,38	
		Te	1	0,93	0,93	
E-4	25	Válvula de bola	1	9,23	9,23	15,37
		Codo 90°	3	1,44	4,32	
		Te	2	0,91	1,82	
D-3	18	Válvula de bola	1	10,67	10,67	13,29
		Codo 90°	1	1,69	1,69	
		Te	1	0,93	0,93	
C-2	25	Válvula de bola	1	9,23	9,23	15,37
		Codo 90°	3	1,44	4,32	
		Te	2	0,91	1,82	
B-1	18	Válvula de bola	1	10,67	10,67	13,29
		Codo 90°	1	1,69	1,69	
		Te	1	0,93	0,93	

Fuente Elaboración Propia

Posteriormente se realiza el cálculo de la presión estática en cada uno de los puntos de consumo con respecto al punto inicial establecido en el tanque de abastecimiento, mediante el uso de la fórmula de la suma de presiones y pérdidas en el punto de consumo, con lo cual logramos ver mediante la tabla 17, que aun haciendo la separación de los tres puntos de consumo 1, 2 y 3, se mantiene un faltante de presión en cada uno de ellos.

Tabla 16 Cálculos para determinar Presión Estática en cada punto de consumo

Tramo	Q diseño (l/s)	D _{interno real} (mm)	Largo (m)	V _{real} (m/s)	Re	ε/D	f	h _f (mca)	h _f 10% por accesorios (mca)	k	h _f accesorios por k (mca)	H _{geom} (mca)	P _{requerida} (mca)	P _{estática} (mca)	P _{dinámica} (mca)
Ramal Distribución 1															
J-10	1,03	30,36	3	1,42	42185,47	4,94E-05	0,02	0,22	0,02	10,67	1,10	-16,00	10	-4,66	0,10
J-9	0,76	30,36	2	1,05	31177,53	4,94E-05	0,02	0,09	0,01	11,58	0,65	-17,00	10	-6,26	0,06
I-J	1,43	30,36	6	1,97	58647,36	4,94E-05	0,02	0,80	0,08	0,00	0,00	0,00	0	0,88	0,20
I-8	1,32	30,36	5	1,82	54203,51	4,94E-05	0,02	0,58	0,06	24,60	4,17	-19,00	10	-4,19	0,17
H-I	2,19	38,9	8	1,84	70045,90	3,86E-05	0,02	0,70	0,07	0,00	0,00	0,00	0	0,77	0,17
H-7	0,96	30,36	2	1,33	39579,58	4,94E-05	0,02	0,13	0,01	14,46	1,31	-20,00	10	-8,55	0,09
G-H	2,60	44,56	3	1,67	72660,36	3,37E-05	0,02	0,19	0,02	0,00	0,00	0,00	0	0,21	0,14
G-6	0,96	30,36	2	1,33	39579,58	4,94E-05	0,02	0,13	0,01	13,93	1,26	-18,00	10	-6,59	0,09
F-G	2,92	44,56	7	1,87	81718,95	3,37E-05	0,02	0,54	0,05	0,00	0,00	0,00	0	0,59	0,18
F-5	0,61	23,53	4	1,40	32118,99	6,37E-05	0,02	0,39	0,04	14,98	1,49	-17,00	10	-5,09	0,10
E-F	3,06	44,56	6	1,96	85594,29	3,37E-05	0,02	0,50	0,05	0,00	0,00	0,00	0	0,55	0,20
E-4	1,03	30,36	3	1,42	42185,63	4,94E-05	0,02	0,22	0,02	15,37	1,58	-17,00	10	-5,18	0,10
A-E	3,36	55,7	40	1,38	75250,60	2,69E-05	0,02	1,36	0,14	0,00	0,00	0,00	0	1,50	0,10
Ramal Distribución 2															
D-3	0,57	23,53	10	1,30	29932,99	6,37E-05	0,02	0,86	0,09	13,29	1,15	-8,00	10	4,09	0,09
C-D	0,57	23,53	15	1,30	29932,99	6,37E-05	0,02	1,29	0,13	0,00	0,00	0,00	0	1,41	0,09
C-2	0,96	30,36	1	1,33	39579,58	4,94E-05	0,02	0,07	0,01	15,37	1,39	-5,00	10	6,46	0,09
B-C	1,24	30,36	5	1,71	50748,87	4,94E-05	0,02	0,52	0,05	0,00	0,00	0,00	0	0,57	0,15
B-1	0,61	23,53	1	1,40	32118,99	6,37E-05	0,02	0,10	0,01	13,29	1,32	-3,00	10	8,43	0,10
A-B	1,51	38,9	10	1,27	48289,92	3,86E-05	0,02	0,45	0,04	0,00	0,00	0,00	0	0,49	0,08

Fuente Elaboración Propia

Tabla 17 Resumen de presiones en cada punto de consumo

Tabla resumen de presiones	
Ruta	H (mca)
A-1	9,02
A-2	7,62
A-3	6,65
A-4	-3,58
A-5	-2,94
A-6	-3,78
A-7	-5,61
A-8	-0,40
A-9	-1,70
A-10	-0,05

Fuente Elaboración Propia

Al calcular que aún se mantiene la deficiencia de presión en los puntos de consumo 1, 2 y 3, es que se debe ir en la búsqueda de un método que nos permita entregar en dichos puntos de consumo la presión mínima establecida en el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones. Por esta razón, uno de los métodos evaluados es el de implementar el uso de un sistema hidroneumático.

4.3.1. Sistema hidroneumático

Para el cálculo de un sistema hidroneumático es preciso dimensionar sus componentes, para esto iniciaremos con el cálculo de la bomba, donde necesitamos 4 detalles importantes: 1. El valor de la aceleración gravitatoria estándar, 9.81 m/s^2 , el cual está establecido a nivel global con este valor mediante la ponderación del valor mayor medido y del valor de menor dimensión alrededor del globo terráqueo 2. El valor de la densidad del agua, establecido en 998 Kg/m^3 3. El valor del caudal de diseño para los tres puntos de consumo, $1,51 \text{ L/s}$. 4. El valor de la presión requerida, en este caso es el establecido como mínimo por el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, 10 mca . Con estos datos y utilizando la ecuación para el cálculo de la Potencia Hidráulica tomado de Carnicer Royo, Enrique & Mainar Hasta, Concepción (2004), *Bombas Centrifugas*, que multiplica estos cuatro valores, obtenemos un resultado de 147.5 W de potencia Hidráulica.

Dicho esto, se puede realizar el cálculo del valor mínimo de la Potencia Eléctrica de la bomba, para esto utilizamos como valor de eficiencia de rendimiento la bomba de 70%, dicho valor proviene de un valor medio de mercado, recomendado por Carnicero & Mainar (2004). Para ese cálculo es preciso utilizar el valor obtenido de potencia hidráulica y dividirlo entre la eficiencia, la cual será de 70%, con lo cual obtendremos un valor de 240.7 W. Para la conexión eléctrica de la bomba sería necesario la adquisición de 60 metros de cable THHN #12 AWG, así como de un breaker de 20 A.

Habiendo obtenido el valor de la potencia eléctrica requerida por la bomba, es necesario hacer el cálculo del volumen del tanque del sistema. Para esto debemos recurrir a la fórmula para sistemas precargados establecida en el Código de Instalaciones Hidroneumáticas y Sanitarias en Edificaciones en el apartado 6.7.2-3, siendo necesario contar con las presiones absolutas mínima y máxima de operación del sistema, para lo cual se establece como la presión mínima los 10 mca; sin embargo, como es posible observar este es el valor manométrico, para lo cual va a ser necesario agregar a este valor la presión atmosférica, que para una altitud de 1420 metros sobre el nivel del mar (msnm) se podría obtener mediante la fórmula de 10,33 mca, restándolo a la división del valor de la altitud en metros sobre el nivel del mar entre 900 msnm/mca, dando como resultado 8.75 mca, por lo tanto el valor de la presión mínima del sistema será de 18,75 mca.

Para el cálculo del valor de la presión máxima, se estable como 2 veces el valor de la presión manométrica, según el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, por lo cual será un valor de 20 mca, a este valor se debe agregar el valor de la presión atmosférica respectiva para la altimetría del lugar, la cual corresponde a 8.75 mca, teniendo estos valores se puede asegurar que el valor de la presión absoluta máxima será de 28.75 mca.

Una vez definidos ambos valores; según la fórmula para sistemas precargados, se debe definir el número de ciclos por hora de la bomba. Mediante el artículo 6.7.1-2 del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, se establece que para un motor de bomba menor de 2 KW, como lo sería en el presente caso (245.8 W), el número de ciclos recomendado es de 15 a 25 ciclos por hora, el cual establece el valor de 20 ciclos, agregando que el valor del caudal para el ramal que debe abastecer el sistema hidroneumático es de 1,51 L/s, obtenemos un volumen de tanque de 390,2 L, según los valores comerciales, el tanque disponible que permita esta selección es un tanque modelo A032R55, de la marca AS/AC-CE, el cual tiene una capacidad máxima de almacenamiento de 500 L, por lo tanto bajo esta condición, se establece que el sistema trabajaría a

15.61 ciclos de operación de la bomba por hora, lo cual es el mínimo recomendado para esta dimensión de bomba.

Artículo 6.7.2-3 Dimensionamiento.
 El volumen total del tanque hidroneumático se puede determinar según las siguientes expresiones:

a. Para sistemas no precargados:

$$V_{th} = 1650 \frac{QP_{max}P_{min}}{C_o(P_{max}-P_{min})P_a}$$

b. Para sistemas precargados:

$$V_{th} = 1800 \frac{QP_{max}}{C_o(P_{max}-P_{min})}$$

Donde,

- V_{th}**= volumen del tanque hidroneumático (litros)
- Q**= caudal del sistema de bombeo (L/s)
- P_{max}**= presión absoluta máxima de operación del tanque
- P_{min}**= presión absoluta mínima de operación del tanque
- P_a**= presión atmosférica
- C_o**= ciclos/hora de operación de las bomba

Figura 16 Artículo 6.7.2-3 Dimensionamiento CIHS

Elaboración CFIA

Habiendo calculado el sistema hidroneumático, se procede a calcular la presión con la que estaría abasteciendo el Ramal 2 mediante la siguiente tabla.

Tabla 18 Cálculos para determinar Presión Estática en cada punto de consumo con sistema hidroneumático

Tramo	Q diseño (l/s)	D interno real (mm)	Largo (m)	V _{real} (m/s)	Re	ε/D	f	h _f (mca)	h _f 10% por accesorios (mca)	k	h _f accesorios por k (mca)	H geom (mca)	P requerida (mca)	P estática (mca)	P dinámica (mca)
Ramal Distribución 2															
D-3	0,57	23,53	10	1,30	29932,99	6,37E-05	0,02	0,86	0,09	13,29	1,15	-8,00	10	-5,91	0,09
C-D	0,57	23,53	15	1,30	29932,99	6,37E-05	0,02	1,29	0,13	0,00	0,00	0,00	0	1,41	0,09
C-2	0,96	30,36	1	1,33	39579,58	4,94E-05	0,02	0,07	0,01	15,37	1,39	-5,00	10	-3,54	0,09
B-C	1,24	30,36	5	1,71	50748,87	4,94E-05	0,02	0,52	0,05	0,00	0,00	0,00	0	0,57	0,15
B-1	0,61	23,53	1	1,40	32118,99	6,37E-05	0,02	0,10	0,01	13,29	1,32	-3,00	10	-1,57	0,10
A-B	1,51	38,9	10	1,27	48289,92	3,86E-05	0,02	0,45	0,04	0,00	0,00	0,00	0	0,49	0,08

Fuente Elaboración Propia

Con lo cual ahora se puede calcular la presión remanente luego de los 10 mca con que estarían siendo alimentados los puntos de consumo 1, 2 y 3 mediante la siguiente tabla.

Tabla 19 Presión de alimentación en los puntos 1, 2 y 3 después de alcanzar la presión mínima requerida con sistema hidroneumático

Tabla resumen de presiones	
Ruta	H (mca)
A-1	-0,98
A-2	-2,38
A-3	-3,35
A-4	-3,58
A-5	-2,94
A-6	-3,78
A-7	-5,61
A-8	-0,40
A-9	-1,70
A-10	-0,05

Fuente Elaboración Propia

Habiendo realizado los cálculos de presión de abastecimiento del sistema hidroneumático para el ramal de distribución, se puede evidenciar que todos los puntos de consumo cuentan con la presión mínima establecida por el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones de 10mca. Con el fin de mantener las presiones, se incluye como parte del diseño una válvula reguladora de presión en el ingreso de cada uno de los puntos de consumo según el diámetro calculado para cada uno de ellos, establecida en una presión de 10 mca.

4.4. Consumo eléctrico

Para el caso del consumo eléctrico, se encuentra una conexión a 110V, dando como resultado de las diferentes mediciones realizadas durante la operación del equipo de bombeo, que este tiene un consumo eléctrico de 18.3 A y de 117.2 V.



Figura 17 Consumo de corriente eléctrica de la bomba

Elaboración propia



Figura 18 Consumo tensión eléctrica de la bomba

Elaboración propia

Además, se identifica un circuito compuesto por una boya y un contactor para el encendido y apagado automático de la bomba, lo cual se encuentra según lo establecido en el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones. Sumado a esto se encuentra un disyuntor de protección a la entrada del circuito, el cual es de 20A y se encuentra entre lo establecido en el NEC.

En el caso de los conductores, el circuito cuenta con un cable de cobre THHN 10 AWG para la fase y 10 THHN de Aluminio para el neutro, ambos según lo establecido en el NEC en la tabla 310.15(B)(16).

En el caso del sistema hidroneumático, se debe instalar con un disyuntor de 2X10A y en el caso de los conductores, estos deben ser de cobre THHN 12 AWG.

4.5. Calidad del agua

Tal y como se pudo apreciar en el marco teórico del presente trabajo; la potabilización es un elemento de vital importancia, ya que, al estar hablando de agua para consumo humano, la salud de las personas que la consumen depende de una correcta desinfección, para así no contraer enfermedades que como bien es sabido, pueden llegar a ser mortales.

En este caso, previo a la elaboración de este trabajo, no se contaba con evidencia que permitiera asegurar si el agua que se está consumiendo es apta para las personas que la ingieren, por esta razón se llevaron a cabo los análisis físico-químicos y microbiológicos, con el fin de establecer evidencia, que permitiera tener la certeza del estado del agua, sin embargo los resultados de dichos análisis no condicionan la incorporación en el diseño de un método de desinfección del agua cruda proveniente de la naciente, que luego será consumida por los habitantes de los hogares abastecidos.

4.5.1. Análisis físico-químico y microbiológico

Para lograr tener evidencia del estado actual del agua distribuida en el sistema, es que se realiza un análisis de laboratorio, el cual busca por medio de las pruebas físico-químicas: olor, sabor, turbiedad y cloro residual, además de las pruebas microbiológicas: Coliformes fecales y Escherichia Coli, determinar si el agua es apta para el consumo humano o si, en su defecto no es recomendable que se utilice en el consumo humano.

Es así que, haciendo uso de los resultados obtenidos por las pruebas realizadas, evidenciadas en las figuras 10 y 11 del presente documento, se determina que el agua actualmente no es apta para consumo humano, ya que el parámetro de Coliformes Fecales presentes en las muestras extraídas excede el límite establecido, el cual debe ser una presencia nula y el resultado evidencia una presencia de 5 Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por cada 100 mL de agua examinada.

Además, se puede observar que en el parámetro Cloro Residual, el valor medido se encuentra fuera de los valores admisibles, en cuanto a este parámetro era un resultado de esperar ya que el agua actualmente se consume sin realizarle ningún tipo de tratamiento de desinfección, lo que podría llamarse agua cruda. En cuanto a los demás parámetros examinados se evidencia que están dentro de los valores admisibles.

Análisis	Resultado	Unidades	Valores admisibles	LC	Inc. (U)	Método de Ensayo
Decreto 38924						
Parámetros de Calidad del Agua Nivel Primero (N1)						
pH	6.89	-	6.00 - 8.00	4.01	0.14	¹ PA-4500H *
Temperatura	22.60	°C	18.00 - 30.00	0	0.82	¹ PA-2550 *
Cloro residual libre	0.05	mg/L	0.30 - 0.60	0.16	0.11	¹ PA-4500CI *
Conductividad	253.00	µS/cm	VA: 400	3.70	1.01	² PA-2510 *
Turbidez	0.10	UNT	0.00 - 5.00	0.00	0.07	² PA-2130 *
Color aparente	ND	UPT-Co	0.00 - 15.00	5		² PA-2120 *
Olor	Aceptable	-	Aceptable	-		² PA-2150 *

Figura 19 Resultados de Análisis Físico-Químicos

Elaboración Laboratorio BioAnalítica

Análisis	Resultado	Unidades	Valores admisibles	LC	Inc. (U)	Método de Ensayo
Parámetros Microbiológicos						
Coliformes fecales	5.	UFC/100 mL	Ausente	1		³ PA-9223 *
<u>Escherichia Coli</u>	Ausencia	P/A	Ausente	1		³ PA-9223 *

Figura 20 Resultados de Análisis Microbiológicos

Elaboración Laboratorio BioAnalítica

4.5.2. Método de potabilización

Las condiciones específicas del lugar y del agua que brota de la naciente, permiten seleccionar un sistema de potabilización que brinde una facilidad de operación y mantenimiento para la comunidad; además de esto, para la selección se utilizan los puntos establecidos en la Guía para la Selección de Sistema de Desinfección de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2007):

- Rápido y efectivo.
- Fácilmente soluble en agua en las concentraciones requeridas y capaz de proveer una acción residual.

- Que no afecte color y sabor del agua.
- Fácil de manipular, transportar, aplicar y controlar.

Habiendo evaluado diferentes opciones presentes en el mercado, se toma la determinación de utilizar la desinfección por Dosificador de Erosión de tabletas de Hipoclorito de Calcio de alta concentración (60%-75%), podemos ver en la siguiente imagen proveniente de la tabla a.1 de la Guía para la Selección de Sistema de Desinfección, que el sistema de dosificación por erosión dentro de sus ventajas, tiene que la operación del mismo es ideal para pequeñas comunidades, como lo es la comunidad donde se desarrolla el presente trabajo.

Clasificación	Equipo dosificador	Ventajas	Desventajas
	Bajo presión atmosférica, de carga constante		
Solución	Tanque con válvula de flotador	Sumamente sencillo de operar y mantener. Muy barato. Pueden construirse localmente. Confiable. No necesita energía eléctrica. Permite dosificaciones para caudales mínimos. Puede usarse en cualquier situación, excepto en pozos tubulares cerrados.	La dosificación no es muy precisa. Error de alrededor de 10%. Exige un control constante debido a la variación de las dosificaciones. El material se puede corroer.
	Tubo con orificio en flotador	Carga constante. Sumamente sencillo. Muy barato. Pueden construirse localmente. Confiable. No necesita energía eléctrica.	Según la manera en que el sistema fue construido, puede llegar a tener un error de dosificación de hasta un 20%.
	Sistema vaso/botella	Sumamente sencillo. Muy barato. Puede construirse localmente. Ideal para comunidades pequeñas. Error de dosificación menor del 10%. No necesita energía eléctrica.	Debe mantenerse limpio.
	Bajo presión positiva o negativa		
	Bomba de diafragma (positiva)	Sumamente confiable. Muy popular. Sencillo de operar. Uno de los pocos sistemas para trabajar bajo presión. Puede introducir la solución directamente en tuberías de agua presurizada hasta con 6.0 kg/cm ² .	El personal debe adiestrarse en su operación y mantenimiento. Costo intermedio a elevado para un sistema rural. Requiere energía eléctrica. Debe vigilarse. A veces hay corrosión en el rotor de la bomba debido al cloro.
	Dosificador por succión (negativa)	Muy sencillo. La solución más barata para una alimentación en tuberías presurizadas.	Requiere vigilancia y mantenimiento para evitar obstrucciones en dispositivo Venturi.
	Generador de hipoclorito de sodio <i>in situ</i>	No requiere transporte de productos clorados. Se produce <i>in situ</i> . Sencillo y fácil de operar.	Requiere de agua blanda para que no se acumulen depósitos en los electrodos. Requiere de vigilancia constante y personal entrenado para tomar precauciones de seguridad por la formación de gas cloro. Requiere de un espacio de seguridad del equipo.
Sólido	Dosificador de erosión	Sumamente sencillo. Ideal para pequeñas comunidades. Una de las mejores soluciones para dosificación a la entrada de un tanque. No necesita energía eléctrica.	Costo intermedio. Errores de dosificación alrededor de 10%. Necesita tabletas. En algunos dosificadores las tabletas (si se producen localmente) tienen a adherirse o a formar cavernas y no caen en la cámara de disolución.

Figura 21 Tabla a.1: Tabla comparativa de ventajas y desventajas de los distintos métodos que utilizan cloro y derivados, Guía para la Selección de Sistema de Desinfección

Elaboración OPS

De los equipos presentes en el mercado de Costa Rica, la opción presentada por Accu-Tab, distribuido por Corporación Font, bajo el modelo 3012 con capacidad de cloración máxima de 0.259Kg/h de cloro con un flujo máximo de 10 Galones por minuto, lo que corresponde a 37.85 litros por minuto y un mínimo de 1 Galón por minuto, lo que corresponde a 3.79 litros por minuto, representa un sistema apto para ser utilizado en este acueducto, ya que es un sistema que se adapta fácilmente a la obra existente, con una inversión intermedia y además que es un sistema catalogado de bajo mantenimiento, siendo este solamente una verificación del nivel de tabletas presente en la cámara de erosión.

Las tabletas, con diámetro aproximado de 8cm (3 pulgadas), son colocadas en la cámara de erosión por la que fluiría el agua, una vez que el agua haya transitado por esta sección, el flujo del líquido continúa su camino hacia la tubería de llenado del tanque de distribución.



Figura 22 Funcionamiento sistema clorador Accu-Tab

Elaboración Accu-Tab

Según lo establece la Guía para la selección de sistema de desinfección, la concentración residual de cloro libre para una desinfección eficaz, deber ser no menor de 0.5mg/l, luego de un periodo de contacto de al menos 30 min, por tal razón y según la demanda de diseño del acueducto, se debe incorporar al menos un tanque de 6000 litros para complementar el tanque de distribución existente, debido a que para cumplir con el tiempo mínimo de almacenamiento para el caudal de diseño establecido en 3,99 L/s, para un total de 1800 segundos se requeriría un tanque de almacenamiento de 7011 L.

4.6. Plan de mantenimiento

Bajo el objetivo de prolongar la vida útil de la bomba, es que se establecen planes de mantenimiento; sumado a esto, se busca minimizar el tiempo fuera de operación del equipo o en su defecto que se establezcan planes que permitan contrarrestar el efecto de un equipo fuera de operación, es por estas razones que es de suma importancia, periódicamente, realizar actividades de evaluación para prevenir una salida de operación inesperada, corregir fallas y/o reemplazar

elementos que ya completaron la vida útil para la que fueron diseñados. Sin embargo, en este caso para ninguno de los objetivos antes mencionados se cuenta con un plan de mantenimiento.

Apalancado en recomendaciones del fabricante, se establece una serie de actividades con su respectivo tiempo de aplicación.

Tabla 20 Actividades Semanales de Mantenimiento Sistema Bombeo

Mantenimiento Semanal del Sistema Bombeo		
Actividad	Frecuencia	Descripción de la actividad
Verificación de derrames	Semanal	Por medio de una inspección visual, verificar la presencia de goteos, chorros o fugas de agua, en la carcasa del impulsor, uniones de succión y descarga, cavidad de cebado y en el piso donde se encuentra ubicada la bomba. De presentarse goteos, chorros o fugas, corregir.
Examinar Uniones	Semanal	Por medio de una inspección visual, verificar el estado de las uniones de la carcasa del propulsor, uniones de succión y descarga, cavidad de cebado y uniones de la carcasa del motor, con el fin de identificar presencia de oxido, fisuras o desgastes que pongan en riesgo el funcionamiento de la bomba, en caso de encontrar alguno de estos defectos detener el funcionamiento y corregir.
Limpieza general	Semanal	Por medio de una inspección visual, identificar la presencia de polvo y/o suciedad en el exterior de la carcasa bomba, de presentar alguna de las anteriores con la ayuda de un paño limpiar.
Punto de anclaje	Semanal	Por medio de una inspección visual y de movimiento, comprobar la estabilidad de los puntos de anclaje de la bomba, en caso de presentar alguna falla detener y corregir.
Comprobar altura de succión	Semanal	<p>Por medio de una inspección con una cinta métrica, verificar la altura desde la entrada de succión de la bomba al espejo de agua (punto más alto del tanque de captación con presencia de agua) sea de al menos 5 metros, en caso de no contar con la altura mínima bloquear el encendido automático hasta contar con la altura mínima.</p> <p>Nota: la medición debe realizarse con la bomba detenida y con al menos 10 minutos de haberse detenido.</p>

Fuente Elaboración propia con base en recomendaciones del fabricante

Tabla 21 Actividades Trimestrales de Mantenimiento Sistema Bombeo

Mantenimiento Trimestral del Sistema Bombeo		
Actividad	Frecuencia	Descripción de la actividad
<p>Limpieza y verificación de estado de los puntos de conexión</p>	<p>Trimestral</p>	<p>Utilizando limpiador dieléctrico realizar una limpieza de los puntos de conexión de la alimentación eléctrica del motor.</p> <p>Verificar que cada uno de los puntos no se encuentren flojos.</p> <p>Nota: desconectar la alimentación eléctrica previo al inicio asegurándose de colocar un método de bloque de la alimentación eléctrica.</p>
<p>Limpieza del filtro de la válvula antirretorno en la succión</p>	<p>Trimestral</p>	<p>Cerrar la cavidad de entrada al tanque de captación, una vez que se haya vaciado, proceder con un cepillo plástico además de agua y jabón, a realizar una limpieza del filtro que se encuentra colocado previo a la válvula antirretorno en la tubería de succión de la bomba, removiendo cualquier obstrucción que se pueda encontrar.</p> <p>Nota: una vez se finalice la limpieza se debe cebar la bomba antes de volver a poner en funcionamiento.</p>

Fuente Elaboración propia con base en recomendaciones del fabricante

Tabla 22 Actividades Anuales de Mantenimiento Sistema Bombeo

Mantenimiento Anual del Sistema Bombeo		
Actividad	Frecuencia	Descripción de la actividad
Inspeccionar el sello mecánico entre la junta del motor y el impulsor	Anual	<p>Verificar visualmente el estado del empaque de la junta de la carcasa del motor con la carcasa del impulsor, en búsqueda de reventaduras o muescas por deterioro, en caso de encontrar fallas cambiar el empaque.</p> <p>Nota: desconectar la alimentación eléctrica previo al inicio asegurándose de colocar un método de bloque de la alimentación eléctrica.</p> <p>Bomba Truper: R7B-BOAC-1/2A – 949323 Boma Leo: no disponible (material: carburo de silicona/grafito)</p>
Lubricación de rodamientos	Anual	<p>Limpiar la grasa presente en los rodamientos, verificar el estado físico de cada uno de los rodamientos, que no presenten daños, que gire libremente y que no presente ninguna modificación en su patrón de giro, posteriormente agregar grasa nueva para rodamientos de alta velocidad, asegurarse que toda la superficie de giro se encuentre cubierta.</p> <p>Nota: la grasa específica para el tipo de rodamiento debe ser verificada ya que no se cuenta con el detalle de la especificación del rodamiento.</p> <p>Bomba Truper: rodamiento 6203 Boma Leo: no disponible (material: alta calidad)</p>
Limpieza de rotor	Anual	<p>Utilizando limpiador dieléctrico, asegurarse de hacer una limpieza total del embobinado del motor, con el fin de eliminar cualquier objeto ajeno al funcionamiento del rotor que se encuentre presente.</p> <p>Realizar una inspección visual del estado físico del interior del rotor en búsqueda de fisuras y/o desgaste del mismo.</p> <p>En caso de presentar alguna falla corregir antes de retornar a la operación del equipo.</p> <p>Nota: desconectar la alimentación eléctrica previo al inicio asegurándose de colocar un método de bloque de la alimentación eléctrica.</p>

Fuente Elaboración propia con base en recomendaciones del fabricante

4.7. Costos

Todo proyecto cuenta con su apartado de contabilización de costos, en el presente caso no es la excepción; por consiguiente, se hace el recuento en las siguientes secciones de cada uno de los apartados que implicarían la implementación de este.

4.7.1. Materiales de instalación

Recurriendo a la tabla con la que se realizó el cálculo de los diámetros respectivos por sección, y agregando una columna con el largo medido para cada sección, se puede hacer el recuento del total de tubería requerida por cada diámetro de tubería a ser utilizado, para esto utilizamos la tabla 23.

Tabla 23 Diámetros y largos por sección

Cálculo de diámetros					
Tramo	DN (mm)	DN (pulg)	SDR	D interno real (mm)	Largo
Ramal Distribución 1					
J-10	25	1	SDR 26	30.36	3
J-9	25	1	SDR 26	30.36	2
I-J	25	1	SDR 26	30.36	6
I-8	25	1	SDR 26	30.36	5
H-I	31	1 1/4	SDR 26	38.9	8
H-7	25	1	SDR 26	30.36	2
G-H	38	1 1/2	SDR 26	44.56	3
G-6	25	1	SDR 26	30.36	2
F-G	38	1 1/2	SDR 26	44.56	7
F-5	18	3/4	SDR 17	23.53	4
E-F	38	1 1/2	SDR 26	44.56	6
E-4	25	1	SDR 26	30.36	3
A-E	50	2	SDR 26	55.7	40
Ramal Distribución 2					
D-3	18	3/4	SDR 17	23.53	10
C-D	18	3/4	SDR 17	23.53	15
C-2	25	1	SDR 26	30.36	1
B-C	25	1	SDR 26	30.36	5
B-1	18	3/4	SDR 17	23.53	1
A-B	31	1 1/4	SDR 26	38.9	10

Fuente Elaboración propia

Una vez que se definió el diámetro para cada sección, se hace la sumatoria de la longitud de las secciones de igual diámetro, posteriormente se divide la cantidad total de metros requerida por cada diámetro entre 6, que es el largo total de cada tubo comercialmente, con esto se logra definir la cantidad de tubos requeridos por cada diámetro.

Tabla 24 Cálculo cantidad de tubos requerida

DN (mm)	DN (pulgadas)	Cedula	Cantidad de metros requerida	Cantidad de Tubos
18	3/4	SDR 17	30	5
25	1	SDR 26	29	5
31	1 1/4	SDR 26	18	3
38	1 1/2	SDR 26	16	3
50	2	SDR 26	40	7

Fuente Elaboración propia

Para el cálculo total de los materiales a ser requeridos, se hace un conteo de figuras según el diámetro de la sección en que serán usados.

Tabla 25 Costo Materiales de instalación

Ítem	Descripción	Cantidad	Subtotal	Total
1	Tubo PVC 18 mm (0.75 pulg) SDR 17	5	¢9,200.00	¢46,000.00
2	Tubo PVC 25 mm (1 pulg) SDR 26	5	¢8,400.00	¢42,000.00
3	Tubo PVC 31 mm (1.25 pulg) SDR 26	3	¢16,150.00	¢48,450.00
4	Tubo PVC 38 mm (1.5 pulg) SDR 26	3	¢21,940.00	¢65,820.00
5	Tubo PVC 50 mm (2 pulg) SDR 26	7	¢35,470.00	¢248,290.00
6	Pegamento PVC 1/4 galón	2	¢15,400.00	¢30,800.00
7	Codo 90 25 mm (1 pulg)	15	¢1,100.00	¢16,500.00
8	Codo 90 18 mm (0.75 pulg)	6	¢530.00	¢3,180.00
9	Té 25 mm (1 pulg)	10	¢1,370.00	¢13,700.00
10	Té 25 mm (0.75 pulg)	5	¢580.00	¢2,900.00
11	Reducción 50 mm a 25 mm	1	¢3,230.00	¢3,230.00
12	Llave de bola pvc 25 mm (1 pulg)	8	¢6,810.00	¢54,480.00
13	Llave de bola pvc 18 mm (0.75 pulg)	4	¢4,670.00	¢18,680.00
15	Válvula reguladora de presión 1"	7	¢35,750.00	¢250,250.00
16	Válvula reguladora de presión ¾"	3	¢31,100.00	¢93,300.00
14	Consumibles	1	¢25,000.00	¢25,000.00
15	Cables THHN #12 AWG	60 m	¢335.00	¢20,100.00
16	Disyuntor 20 A	1	¢36,450.00	¢36,450.00
			Total	¢1,019,130.00

Fuente Elaboración propia

4.7.2. Puesta en marcha

Se contabiliza el valor de los servicios de puesta en marcha e instalación. Como rubro principal puesta en marcha se considera el valor de la mano de obra de la instalación de los equipos, así como para el rubro de instalación se contempla el valor de los servicios de mano de obra de la instalación de la tubería, para lo cual es requerido únicamente el costo de un operario especializado, para el restante valor de mano de obra los miembros de la comunidad donan el tiempo de trabajo.

Tabla 26 Costo de Puesta en marcha

Ítem	Descripción	Cantidad	Subtotal	Total
1	Puesta en Marcha	1	¢250,000.00	¢250,000.00
2	Instalación	1	¢350,000.00	¢350,000.00
3	Cimentación tanque 7500L	1	¢350,000.00	¢350,000.00
			Total	¢950,000.00

Fuente Elaboración propia

4.7.3. Equipos

Se contabiliza el valor del costo de los equipos requeridos para el funcionamiento del sistema.

Tabla 27 Tabla Costos Equipos

Ítem	Descripción	Cantidad	Subtotal	Total
1	Tanque 7500 L	1	¢1,024,790.98	¢1,024,790.98
2	Clorador Accu-Tab	1	¢550,063.00	¢550,063.00
3	Bomba 1 HP Q 116 L/min	1	¢68,785.00	¢68,785.00
4	Tanque presión precargado 500 L	1	¢676,305.00	¢676,305.00
			Total	¢2,319,943.98

Fuente Elaboración propia

4.7.4. Operación

Se contabiliza el valor del costo de la operación del sistema.

Tabla 28 Tabla Costos operación del sistema

Ítem	Descripción	Cantidad	Subtotal	Total
1	Tambor pastillas cloro 65% 3 pulg	1	¢142,613.91	¢142,613.91
2	Mantenimiento anual	1	¢125,000.00	¢125,000.00
3	Consumo eléctrico	1	¢320,000.00	¢320,000.00
4	Pruebas físicas- químicas y biológicas Nivel 1	1	¢50,850.00	¢50,850.00
			Total	¢638,463.91

Fuente Elaboración propia

En cuanto a los gastos de operación actuales, la comunidad se encuentra organizada para recaudar mensualmente los gastos mediante actividades como rifas, ventas de comida, bingos y

donaciones, manifestando que, para un gasto operativo mayor, a futuro se prevé ser resuelto de la misma manera. En lo que se refiere a los gastos de nuevos materiales de instalación, puesta en marcha y equipos a ser adquiridos, aún no se tiene claro cómo sería la forma de hacerle frente a los recursos necesarios.

Estableciendo un consumo diario, según la Norma de diseño y construcción de sistemas de agua, saneamiento y pluvial del Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados, de 200 L/p, se calcula que el total a pagar por toda la comunidad, según el tarifario determinado por la misma entidad, sería un monto de ¢285,879.00, con lo cual un retorno de inversión estaría establecido en 15 meses, teniendo en cuenta que al día de hoy el costo por cada litro de agua consumido en la comunidad es de ¢0.

5. Propuesta

Al iniciar este apartado, es necesario mencionar que la comunidad compuesta por 10 casas en San Ramón de La Unión, Cartago, la cual es el objetivo del presente estudio, cuenta con una situación que debe despertar la atención de los habitantes del lugar, ya que es de suma importancia que se le brinde una atención pronta.

Estamos hablando del agua que abastece a esta comunidad, la misma es tomada de una naciente, que además es distribuida mediante un acueducto establecido valga resaltar de manera empírica, ya hace algunas décadas atrás, por lo que carece de una estructura que se apege a lo establecido por las diferentes normas y regulaciones aplicables en nuestro país. Es por tal razón que se genera el análisis de la situación actual, del cálculo y diseño según las regulaciones aplicables y las buenas prácticas de ingeniería, para satisfacer el consumo del vital líquido para la vida humana, logrando establecer un sistema adecuado según la topología del lugar y al consumo dado en cada uno de los hogares que se benefician.

Es así que, habiendo consultado diferentes fuentes como son los manuales, guías, leyes y además diferentes estudios relacionados con la recolección, distribución, almacenaje y potabilización del agua, se alcanza la actual propuesta.

5.1. Distribución

Partimos del sistema actual de recolección, el cual cuenta con las condiciones mínimas requeridas, por lo tanto, no es necesario hacer ninguna modificación.

Seguidamente se hace el análisis de la cantidad de líquido a ser abastecido en cada uno de los puntos de consumo de la comunidad, llegando al dato total de consumo de todos los hogares, según los cálculos realizados y establecidos en la sección *4.2 Consumo Hidráulico*, de 3.895 L/s.

Al haber obtenido este dato, sumado al valor de las presiones en cada uno de los puntos de consumo, es que se hace evidente la necesidad de realizar un cambio en la estructura actualmente establecida en el lugar, ya que en los puntos de consumo 1, 2 y 3, no es posible contar con el suministro mínimo de presión que dicta el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones de 10 metros de columna de agua.

La modificación propuesta al sistema actual para distribuir el agua, inicia realizando la separación en dos ramales de distribución, en el ramal 1 se establecen los puntos 1, 2 y 3; y en el ramal 2 los restantes puntos de consumo 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10. Con esta medida, el caudal mínimo demandado por ramal según se puede apreciar en la tabla 13 se consigna de la siguiente manera:

ramal de distribución 1: 3,36 L/s y ramal de distribución 2: 1,51 L/s. Después de calcular estos valores, se procede a realizar la propuesta de modificación de los diámetros de las tuberías que se establece según la siguiente tabla.

Tabla 29 Diámetros de tubería por sección

Cálculo de diámetros					
Tramo	DN (mm)	DN (pulg)	SDR	D interno real (mm)	Largo (m)
Ramal Distribución 1					
J-10	25	1	SDR 26	30,36	3
J-9	25	1	SDR 26	30,36	2
I-J	25	1	SDR 26	30,36	6
I-8	25	1	SDR 26	30,36	5
H-I	31	1 1/4	SDR 26	38,9	8
H-7	25	1	SDR 26	30,36	2
G-H	38	1 1/2	SDR 26	44,56	3
G-6	25	1	SDR 26	30,36	2
F-G	38	1 1/2	SDR 26	44,56	7
F-5	18	3/4	SDR 17	23,53	4
E-F	38	1 1/2	SDR 26	44,56	6
E-4	25	1	SDR 26	30,36	3
A-E	50	2	SDR 26	55,7	40
Ramal Distribución 2					
D-3	18	3/4	SDR 17	23,53	10
C-D	18	3/4	SDR 17	23,53	15
C-2	25	1	SDR 26	30,36	1
B-C	25	1	SDR 26	30,36	5
B-1	18	3/4	SDR 17	23,53	1
A-B	31	1 1/4	SDR 26	38,9	10

Fuente Elaboración propia

Seguidamente se establece que para el ramal de distribución 2, es necesario contar con un sistema que lleve la presión del líquido a los valores mínimos establecidos, para tal requerimiento la solución brindada consta de un sistema hidroneumático que permita alcanzar un valor de 10mca en las tuberías que llegan a dichos puntos de consumo. Para esto fue necesario realizar los cálculos de diseño de los elementos que componen el sistema hidroneumático, bomba y tanque de membrana auto-expansible, obteniendo valores que exigen una bomba requerida como mínimo de 147,5 W de potencia, 90,5 L/min para su valor de caudal y que alcance al menos 10 mca de presión; para esto se

permite el uso de la bomba modelo BOAC-1AX, marca Truper, la cual cumple satisfactoriamente los valores mínimos requeridos. Para la conexión eléctrica de la bomba sería necesario la adquisición de 60 metros de cable THHN #12 AWG, así como de un breaker de 20 A.

Posteriormente, es necesario encontrar los valores para el tanque de presión requerido por el sistema; para esto también se requiere el valor de la potencia de la bomba, ya que por lo requerido en el artículo *6.71-2 Ciclos*, del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, es necesario establecer el número de ciclos por hora en que debe trabajar la bomba, teniendo una potencia menor a los 2 KW, se establece que el número de ciclos que debe operar la bomba por cada hora será de 20 ciclos, posteriormente al aplicar la fórmula *b*, del artículo *6.7.2-3 Dimensionamiento*, como se puede apreciar en la sección 4.3.1, se obtiene un valor de 390,2 L y según los valores comerciales, el tanque disponible que permita esta selección es un tanque modelo A032R55, de la marca AS/AC-CE, el cual posee una capacidad máxima de almacenamiento de 500 L.

5.2.Potabilización

Ahora que se ha determinado el método con el cual se mantendrá la presión en los valores establecidos por el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, es preciso pasar al sistema de potabilización. Para este, con base en los parámetros establecidos por la Organización Panamericana de la Salud, se ha seleccionado el método de cloración por medio de dosificador por erosión de pastillas de hipoclorito de calcio, al considerar que la opción brindada por el sistema de la marca Accu-Tab modelo 3012, es un sistema óptimo para los parámetros establecidos.

Finalmente, para disponer de un método efectivo de potabilización, es necesario contar con un periodo de estanqueidad del agua de al menos 30 minutos una vez haya tenido contacto con las pastillas de hipoclorito de calcio, por lo que, para el caudal de diseño demandado, se requiere disponer de un tanque de al menos 7011 L; por lo tanto, de las opciones presentes en el mercado, el tanque de 7500 L de marca Ecotank es la opción que mejor se adapta a lo requerido por el sistema.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Ha sido posible definir el sistema de abastecimiento ideal por medio de los cálculos de caudal de diseño del sistema obteniendo un valor 4,87 L/s , cálculo de diámetros reales requeridos por cada segmento de tubería establecidos en la Tabla 14 Cálculo de Diámetro Interno Real en Rediseño, pérdidas por concepto de accesorios y cálculos de presión estática y presión dinámica en cada punto de consumo los cuales se encuentran en la Tabla 16 Cálculos para determinar Presión Estática en cada punto de consumo, que garantiza la distribución de agua y a su vez hace uso de la instalación ya existente en el lugar, como lo son la bomba marca Leo Pumps modelo XJWm/3BM, el tanque de captación con capacidad para 1100 L y la tubería de alimentación del tanque de distribución.

- Se llevó a cabo la evaluación de: parámetros de uso y mantenimiento, además de las tecnologías existentes en mercado al momento de realizar el presente documento, con el fin de definir el sistema de potabilización con la adaptación más favorable al diseño establecido. Llegando a la conclusión que la mejor manera de potabilizar el recurso es mediante el método de dosificador por erosión de tabletas de hipoclorito de calcio de alta concentración (60%-75%), y más precisamente el sistema de la marca Accu-Tab, modelo 3012, el cual utiliza pastillas con una concentración del 65% en pastillas de 3 pulgadas de diámetro, siendo este el sistema con la mejor adaptación para el acueducto diseñado, permitiendo proveer el recurso hídrico apto para consumo humano.

- Se generó un plan de mantenimiento, con distintas actividades y con diferente periodicidad, basado en las recomendaciones del fabricante; analizando las descripciones técnicas y el tiempo de uso del sistema de bombeo, el cual se posible encontrarlo en las Tablas 20, 21 y 22, esto con el fin de un continuo funcionamiento del sistema y una prolongación de la vida útil de las bombas instaladas.

- Se logra detectar, mediante la evaluación del estado y el actual diseño, que el sistema de alimentación eléctrica para el sistema de bombeo, el cual tiene unos valores de consumo eléctrico de 18,3 A para una tensión de 120 V, que además cuenta con un disyuntor de protección de 20 A, cumple con las directrices dictadas por el Código Eléctrico Nacional, permitiendo ser así un resguardo para la integridad física de los usuarios, el mantenimiento del sistema y siendo capaz de proteger la edificación y al sistema mismo, en caso de presentarse un eventual siniestro.

- Se estima que el costo de la adquisición de los nuevos equipos sería de ₡2,319,943.98; materiales de la nueva instalación ₡1,019,130.00 y puesta en marcha de ₡950,000.00; dando como resultado en la sumatoria final para una posible implementación de ₡4,289,073.98. En cuanto a lo que la operación respecta, se calculan los costos anualmente, se estima que los mismos rondan los ₡638,463.91.

- Se alcanza a diseñar un sistema mecánico bifurcado, que en uno de sus ramales hace uso de la gravedad, con un valor de caudal de diseño para el ramal 1 de 3,36 L/s y para el ramal 2 cuenta con un valor de 1,51 L/s para su caudal de diseño, y que se vale del uso de un sistema hidroneumático, los cuales fueron diseñados basados en la normativa vigente, y además cumplen con las buenas prácticas de ingeniería, para el fin planteado de abastecer y potabilizar el agua proveniente de la naciente presente en la propiedad, alcanzando brindar una presión mínima de 10mca en todos los puntos de consumo, en otros se alcanza un mayor valor, como se puede observar mediante la Tabla 19. En lo que la potabilización respecta surge la necesidad de contar con un tanque de mayor volumen al utilizado actualmente, ya que es necesario un periodo de estanqueidad del agua una vez ha tenido contacto con el cloro, y con esto poder tener un efecto de potabilización adecuado, que genere una eliminación total de los organismos microbiológicos y que también permita llegar a los niveles de cloro presentes en el agua adecuados para el consumo humano, y así poder suministrar el líquido a lo largo del recorrido del acueducto presente en la comunidad de San Ramon de La Unión, en Cartago, con el sistema de diseño en el presente documento.

6.2.Recomendaciones

1. Inicialmente se recomienda generar una investigación de mayor profundidad, sobre la posible implementación de un acueducto alternativo que permita aprovechar el caudal que al día de hoy se desperdicia en el rebalse del tanque de captación, ya que este podría ser utilizado comercialmente y así cubrir los gastos de operación del acueducto principal de abastecimiento de las casas de la comunidad.

2. Se recomienda la implementación periódica de pruebas de laboratorio de Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3, en los periodos establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, ya que al día de hoy no se cuenta con información histórica de la calidad del agua consumida, y es de vital importancia llevar un control estricto en este rubro, ya que esto implica la salud de las personas abastecidas por el acueducto.

3. De no ser implementado en su totalidad el diseño aquí establecido, sería de suma importancia la implementación de un sistema de potabilización, ya sea de manera grupal o individual a nivel de cada punto de consumo; lo anterior debido a que los parámetros arrojados por el análisis de laboratorio realizados, dictan la no recomendación del consumo humano bajo las condiciones actuales.

4. Se recomienda el asesoramiento de un experto en obra civil, para la evaluación de la estructura actual que soporta el tanque de distribución, ya que esta presenta deficiencias y podría ocasionar una catástrofe ante un eventual sismo, poniendo en riesgo a las personas y a las casas de habitación que se encuentran cercanas a la ubicación de esta.

5. Se sugiere llevar a cabo un sistema de sujeción de la bomba que actualmente dispone el acueducto, ya que el sistema actual de soporte no cuenta con las condiciones favorables y permite que se mueva muy fácilmente.

6. Actualmente el sistema de bombeo carece de un plan de mantenimiento, por lo cual se sugiere se contraten los servicios de un profesional en la materia, para que evalúe el estado actual de la bomba, tanto eléctrica como mecánicamente, y se establezca un plan de mantenimiento periódico en el rotor de la bomba y en el eje y rodamientos, durante el primer mantenimiento para la bomba marca Leo se recomienda se prevea un tiempo de compra según la muestra obtenida de los rodamientos y el sello mecánico en el desarme de la misma, ya que los mismo no es posible obtener sus especificaciones.

7. Bibliografía

- Alexander, Charles K. & Sadiku, Matthew N. O. (2013) *Fundamentos de circuitos electrónicos*. México: McGraw Hill.
- Arias, A. (2010) *Décimo sexto informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Informe Final Situación del Recurso Hídrico*. San José.
<https://repositorio.conare.ac.cr/bitstream/handle>
- AyA. (2017). *Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial*.
<https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Normadiseñoyconstruccionsistemasagua,saneamientoypluvial.pdf>
- AyA. (2020). *Interpretación de análisis de agua potable para la gestión comunitaria en las ASADAS*.
<https://www.aya.go.cr/ASADAS/documentacionAsadas/Interpretacion%20Analisis%20Calidad%20Agua.pdf>
- Carnicer Royo, Enrique & Mainar Hasta, Concepción (2004), *Bombas Centrifugas*, España: Thomson y Parafino.
- Centro Internacional de Evaluación de Recursos de Aguas Subterráneas (IGRAC) (2016), *¿Qué es el agua subterránea?* Recuperado 2 de febrero de 2023.
<https://www.un-igrac.org/es/es/que-es-agua-subterranea>
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, CFIA (2017), *Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones CIHSE*, Recuperado 16 de febrero de 2023,
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/texto_completo.aspx=NRTC&nValor1=1&nValor2=83561&nValor3=107558&strTipM=TC
- Conagua (2019), *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Desinfección Para Sistemas de Agua Potable y Saneamiento*
<https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro23.pdf>
- Corcho, F. H., & Duque, J. I. (2005). *Acueductos: teoría y diseño*; (Tercera edición). Universidad de Medellín.
<https://repository.udem.edu.co/handle/11407/2545>

- Department of Energy, DOE, (2015), *DOE-HDBK-1018/2-93, DOE Fundamentals Handbook, Mechanical Science, Volume 2 of 2.*
- Dirección de agua (s. f.). *Concesión de agua subterránea.*
<https://da.go.cr/concesion-de-agua-subterranea/>
- Hayt Jr, William H. & Buck, Jhon A. (2012) *Ingeniería de Electromagnetismo.* Estados Unidos: McGraw Hill.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación.* México: McGraw Hill.
- López Cualla, Ricardo Alfredo, (2003), *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados,* segunda edición, Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.
- Montilla Montaña, Carlos Alberto, (2016). *Fundamentos de Mantenimiento Industrial.* Colombia: Universidad tecnológica de Pereira.
- Mora Alvarado, D., & Portuguez, C. F. (2020). *Agua para uso y consumo humano y saneamiento en Costa Rica al 2019: Brechas y desafíos al 2023.*
<https://dspaceaya.igniteonline.la/handle/aya/371>
- National Fire Protection Association, NFPA. (2020). *Código Eléctrico Nacional 2020.*
<https://link.nfpa.org/free-access/publications/70-ES/2020>
- Nesbitt, Brian (2007), *Handbook of Valves and Actuators: Valves Manual International,* Elsevier Science & Technology Books
- OPS. (2004). *Calidad del agua potable en Costa Rica: Situación actual y perspectivas.*
<https://www.bvs.sa.cr/php/situacion/agua.pdf>
- OPS. (2007). *Guía para la selección de sistemas de desinfección.*
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/GuiaDeselecciondelsistemadesinfeccion.pdf
- Poder Ejecutivo. (1942). *Ley N° 276 – Ley de Aguas-.*
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=11950&nValor3=91553&strTipM=TC
- Poder Ejecutivo. (2001). *Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua (2001).* ARESEP.
<https://aresep.go.cr/agua-potable/normativa/1969-reglamento-de-normas-tecnicas-y->

procedimientos-para-el-mantenimiento-preventivo-de-los-sistemas-de-abastecimiento-de-agua-2001

Poder Ejecutivo y MINAE (2021). *Reglamento para la perforación de pozos y aprovechamiento de aguas subterráneas*.

http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=95141

Programa Estado de la Nación / Consejo Nacional de Rectores (2022). *Vigésimo octavo Informe Estado de la Nación*. San José, 2022.

<https://repositorio.conare.ac.cr/handle>

Ramírez, C. (2016). *Guía técnica de acueducto y alcantarillado*.

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14128/1/GuiaTecnicaAcueducto.pdf>

Ranald V. Giles & Jack B. Evett (2003), *Mecánica de los Fluidos e Hidráulica*. Tercera edición, Editorial: McGraw-Hill.

Rothschuh Osorio, Ulla (2022). *Qué son las aguas superficiales: definición y ejemplos*.

<https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-superficiales-definicion-y-ejemplos-3944.html>

Sánchez Ferrer, Diana Soraya (2020). *Metodología para el diseño de estaciones de bombeo basado en el método AHP*. Universidad Politécnica de Valencia.

<https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/146817/METODOLOGIAPARAELDISENODEESTACIONESDEBOMBEOBASADAENELMETODOAHP>

Setena (s. f.). *Trámites*.

<https://www.setena.go.cr/es/Tramites>

Terence J. McGhee (1999). *Abastecimiento de Agua y Alcantarillado*, Sexta Edición, Editorial: McGraw-Hill.

Torres Camargo, Julio Cesar (2008), *Material didáctico para la asignatura de acueductos y Alcantarillados*.

https://www.academia.edu/MATERIAL_DIDACTICO_PARA_LA_ASIGNATURA_DE_ACUEDUCTOS_Y_ALCANTARILLADOS

Torres-Degró, A. (2011). *Tasas de crecimiento poblacional (r): Una mirada desde el modelo lineal, geométrico y exponencial*. CIDE digital, 2(1),142-160. Recuperado de

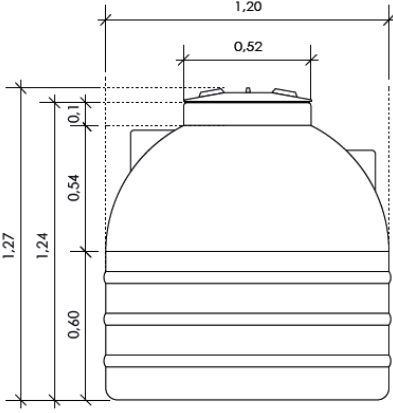
<http://soph.md.rcm.upr.edu/demo/index.php/cide-digital/publicaciones>.

Zamora Parra, B., & Viedma Robles, A. (2016). *Máquinas Hidráulicas Teoría y Problemas*
Universidad Politécnica de Cartagena, Ed.
<http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5476/isbn9788416325191.pdf>

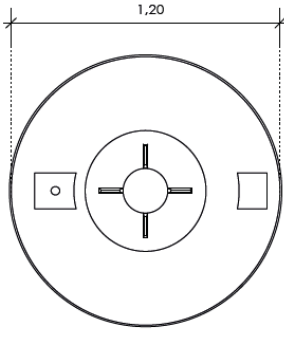
8. Anexos

Anexo 1. Ficha Técnica tanque de distribución

ecotankFICHA TÉCNICA TANQUE 1100 L TRICAPA




VISTA FRONTAL



VISTA SUPERIOR

Cotas en metros.

<p>USO: Para almacenamiento de agua potable.</p> <p>CAPACIDAD EFECTIVA: 1100 L aprox (290 gal).</p> <p>MATERIAL:</p> <ul style="list-style-type: none">• Copolímero de polietileno lineal de media densidad, con estabilizador de UV.• 100% virgen• Materia prima certificada por la FDA (EE. UU) para consumo humano.	<p>PESO APROXIMADO: 22 kg.</p> <p>VIDA ÚTIL ESTIMADA: 50 años.</p> <p>ACCESORIOS INCLUIDOS:</p> <ul style="list-style-type: none">• Válvula boya.• Conector de HDPE de 1 1/2".• Multiconector.• Tapa rosca y aro de HDPE de 18".	<p>GARANTÍA: 5 años contra defectos de fábrica.</p> <p>PAÍS DE ORIGEN: Costa Rica, América Central.</p> <p>PROPIEDAD INTELECTUAL: Ecotank Rotomolding S.A. San José, Costa Rica.</p>
---	--	---


lacasadelatanque.com

Anexo 2. Ficha Técnica tubería

Durman®

FT Tubería Tipo SDR

Descripción

Tubería de PVC para conducción de agua potable.

Presentación

Tubería PVC

Diámetros de ½ a 18 pulgadas

Empaque Rieber incorporado o campana cementada

La presión de trabajo varía de acuerdo al SDR

Norma de referencia ASTM D 2241

Aplicaciones y consideraciones básicas

- Este producto es utilizado solamente para sistemas de distribución agua.
- No es apto para la distribución de gases o aire comprimido.

Normas de producto

- Norma ASTM D 2241
- NSF STD 14-61 (si el cliente lo requiere)

Características generales

- Fácil instalación
- Químicamente inerte
- No produce olores ni sabores
- Libres de plomo
- Apariencia uniforme

Especificaciones tubería PVC ASTM D 2241

Diam. Nom.	Diámetro Promedio Externo (mm)	Espesor mínimo de pared (mm) (Tolerancia positiva equivalente al 6% del espesor mínimo)					
		SDR 41	SDR 32,5	SDR 26	SDR 21	SDR17	SDR 13,5
12	21,34±0,10	...	...	...	...	...	1,57±0,09
18	26,67±0,10	...	...	...	1,52±0,09	1,57±0,09	1,96±0,12
25	33,40±0,13	...	...	1,52±0,09	1,60±0,10	1,96±0,12	2,46±0,15
31	42,16±0,13	1,18±0,07	1,52±0,09	1,63±0,10	2,01±0,12	2,49±0,15	3,12±0,19
38	48,26±0,15	1,18±0,07	1,52±0,09	1,85±0,11	2,29±0,14	2,84±0,17	3,58±0,21
50	60,32±0,15	1,47±0,09	1,85±0,11	2,31±0,14	2,87±0,17	3,56±0,21	4,47±0,27
62	73,02±0,18	1,78±0,11	2,24±0,13	2,79±0,17	3,48±0,21	4,29±0,26	5,41±0,32
75	88,90±0,20	2,16±0,13	2,74±0,16	3,43±0,21	4,24±0,25	5,23±0,31	6,58±0,39
100	114,30±0,23	2,79±0,17	3,51±0,21	4,39±0,26	5,44±0,33	6,73±0,40	8,46±0,51
150	168,28±0,28	4,11±0,25	5,18±0,31	6,48±0,39	8,03±0,48	9,91±0,59	12,47±0,75
200	219,08±0,38	5,33±0,32	6,73±0,40	8,43±0,51	10,41±0,62	12,90±0,77	...
250	273,05±0,38	6,85±0,40	8,41±0,50	10,49±0,63	12,98±0,78	16,05±0,96	...
300	323,85±0,38	7,90±0,47	9,96±0,60	12,45±0,75	15,39±0,92	19,05±1,14	...
375	388,62±0,41	9,47±0,57	11,96±0,72	14,94±0,90	18,49±1,11	...	...
450	457,20±0,48	11,15±0,67	14,07±0,84	17,58±1,05	21,77±1,31	26,90±1,61	...

Presión nominal de trabajo a 23 °C

	SDR 41	SDR 32,5	SDR 26	SDR 21	SDR17	SDR 13,5
psi	100	125	160	200	250	315
Kg/cm ²	7,03	8,93	11,25	14,06	17,58	22,15
kPa	690	862	1103	1379	1724	2172



Anexo 3. Resultados análisis físico-químicos y microbiológicos



Bioanalítica Pacífico SRL
 Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica
 Tel (506) 8492-3432
www.labcostarica.com
info@bioanalitica.net

Reporte de Resultados

Cliente: Adrián Fonseca Gutiérrez
Contacto: Adrián Fonseca Gutiérrez
Dirección: Heredia Belén, La Ribera
E-mail: adrianfon_14@hotmail.com
Actividad: -
Tel/Fax: 8886 7745

Código de muestra: 20234610
Método de Muestreo: PA-01*
Plan de Muestreo: NA
Muestreado por: NA
Fecha de muestreo: 01/07/2023
Fecha de ingreso: 01/07/2023
Fecha de reporte: 10/07/2023

Descripción: Adrián Fonseca **Coordenadas:** NA

Análisis	Resultado	Unidades	Valores admisibles	LC	Inc. (U)	Método de Ensayo
Decreto 38924						
Parámetros de Calidad del Agua Nivel Primero (N1)						
pH	6.89	-	6.00 - 8.00	4.01	0.14	*PA-4500H *
Temperatura	22.60	°C	18.00 - 30.00	0	0.82	*PA-2550 *
Cloro residual libre	0.05	mg/L	0.30 - 0.60	0.16	0.11	*PA-4500Cl *
Conductividad	253.00	µS/cm	VA: 400	3.70	1.01	*PA-2510 *
Turbidez	0.10	UNT	0.00 - 5.00	0.00	0.07	*PA-2130 *
Color aparente	ND	UPT-Co	0.00 - 15.00	5		*PA-2120 *
Olor	Aceptable	-	Aceptable	-		*PA-2150 *



[Handwritten Signature]

Lic. Harry Hernández Mesa
 Regente CQCR # 2753

Reporte de Resultados

Cliente: Adrián Fonseca Gutiérrez
Contacto: Adrián Fonseca Gutiérrez
Dirección: Heredia Belén, La Ribera
E-mail: adrianfon_14@hotmail.com
Actividad: -
Tel/Fax: 8886 7745

Código de muestra: 20234610
Método de Muestreo: PA-01*
Plan de Muestreo: NA
Muestreado por: NA
Fecha de muestreo: 01/07/2023
Fecha de ingreso: 01/07/2023
Fecha de reporte: 10/07/2023

Descripción: Adrián Fonseca **Coordenadas:** NA

Análisis	Resultado	Unidades	Valores admisibles	LC	Inc. (U)	Método de Ensayo
Parámetros Microbiológicos						
Coliformes fecales	5.	UFC/100 mL	Ausente	1		*PA-9223 *
<u>Escherichia Coli</u>	Ausente	PIA	Ausente	1		*PA-9223 *

Validado por:



Dr. Valery Carolina Calderón
Regente MDC-2395

Observaciones:

ND: No cuantificable o detectable / LC: Límite de cuantificación / Inc. Incertidumbre / VMA: Valor máximo admisible
* Análisis Acreditado / ** Análisis no acreditado / *** Análisis Subcontratado / **** Resultado brindado por el cliente
† Parámetros analizados in situ / †: Parámetros analizados en Laboratorio de Bioanalítica en Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica, o en las instalaciones de un laboratorio subcontratado. / †: Parámetros analizados en Laboratorio de Bioanalítica en Tamarindo, Guanacaste, Costa Rica
Los análisis subcontratados fueron realizados por: NA
El muestreo se realizó en la fecha indicada entre las 14:34 y 14:40 horas
Fechas de análisis del 01/07/2023 al 10/07/2023

Las condiciones ambientales durante el muestreo fueron: NA | Matriz: AGUAS POTABLES
Los análisis ejecutados en el laboratorio Bioanalítica se realizaron a (22.5 ± 2.5) °C y (30 a 70) ± 4.5) % HR
Los resultados mostrados en este informe corresponden únicamente a la muestra tomada en la fecha de muestreo indicada.
Bioanalítica no se hace responsable por la información y/o resultados brindados por el cliente al laboratorio, ni por la representatividad de las muestras recolectadas por el cliente.
La incertidumbre reportada corresponde a un nivel de confianza del 95% (K=2)
Bioanalítica opera bajo el permiso sanitario de funcionamiento DARS-SC-2018-0433, vigente hasta el 21/ 11/2023.
Bioanalítica cuenta con un laboratorio acreditado ante el Ente Costarricense de Acreditación bajo la norma INTE ISO/IEC 17025:2017, ver alcance de acreditación en www.eca.or.cr expediente LE-150



Lic. Harry Hernández Mena.
Regente CQCR # 2753

Anexo 4. Ficha Técnica Sistema Potabilización



Chlorinators MODEL 3012

Accu-Tab® chlorinators are made of rigid PVC with seven standard sizes available for industrial and aquatics applications — 3012, 3075, 3150, 3530, 30600, 361000 and 481200. Axiell has an Accu-Tab chlorinator for nearly every requirement — from less than a pound a day to a few hundred pounds a day. The Accu-Tab System combines uniquely designed, patented chlorinators with slow release 68% calcium hypochlorite to provide one complete system for tablet chlorination.



Model Number	Chlorine Delivery Range (lbs/hr.)	Tablet Capacity (lbs.)	Unit Inlet Size (NPT)	Unit Outlet Size (NPT)	Height	Diameter
3012*	Up to 0.57	12	0.75"	1.5"	25"	9"

* Chlorinators NSF Standard 61 certified.

Anexo 5. Ficha técnica pastillas de hipoclorito de calcio

División Industrial

FICHA TÉCNICA



ACCUTAB

(Hipoclorito de Calcio tableta de 3")

Tableta de 3" de Cloro inorgánico con el 65% mínimo de Cloro Activo, de color blanco ligeramente grisáceo.

Agente bactericida y algicida para aplicaciones industriales y en alimentos.

▶ Características y beneficios

- ▶ Mantiene mayor estabilidad a diferente pH.
- ▶ Excelente desinfectante, en sistemas de agua e industria alimenticia.
- ▶ Remueve residuos orgánicos.
- ▶ No baja el pH o reduce la Alcalinidad.
- ▶ No contiene estabilizadores.
- ▶ Elimina el olor a Ácido Sulhídrico (Huevo podrido).

▶ Aplicaciones

- ▶ Desinfección de agua para beber incluso en casos de emergencia.
- ▶ Tratamiento de aguas residuales.
- ▶ Sanitización de superficies porosas y no porosas para procesamiento de alimentos.
- ▶ Plantas productoras de vinos, cerveza, bebidas carbonatadas.
- ▶ Plantas de procesamiento de alimentos (Carnes, pescados, avícola, frutas y verduras, etcétera).



Copyright © www.spingrupo.com - Todos los derechos de propiedad industrial e intelectual, incluyendo pero no limitados a, la imagen de los productos, los diseños, nombres de marcas y presentación de los productos y servicios, se encuentran debidamente amparados de conformidad con las disposiciones previstas en la Ley de la Propiedad Industrial y en la Ley Federal del Derecho de Autor.

ACCUTAB

(Hipoclorito de Calcio tableta de 3")

► Especificaciones

Apariencia	Tableta de 3" de color blanco ligeramente grisáceo
Clor	A Cloro
% Cloro (Cl ₂)	65 % mínimo
Solubilidad	27 g / 100ml (0.9 oz / 3.4 oz fl) de agua
pH al 1%	10.5 - 13

► Presentaciones

- Contenedor 25 kg (55.12 lb)

ELABORADA POR

Comité Técnico y Comité de Seguridad e Higiene Industrial
 Fecha de elaboración: 2 de Mayo de 2013
 Revisión 01: 10 de agosto de 2016

Spin Grupo
 Av. Alta tensión No. 98, local 15,
 Col. Molino de Rosas C.P. 01470,
 Álvaro Obregón, México D.F.
 Tel 52+ (55) 5 660 9298



Copyright © www.spingrupo.com - Todos los derechos de propiedad Industrial e Intelectual, incluyendo pero no limitados a, la imagen de los productos, los diseños, nombres de marcas y presentación de los productos y servicios, se encuentran debidamente amparados de conformidad con las disposiciones previstas en la Ley de la Propiedad Industrial y en la Ley Federal del Derecho de Autor.

Anexo 6. Ficha Técnica Bomba de sistema Hidroneumático



CÓDIGO: 100433 CLAVE: BOAC-1AX

Bomba centrífuga para agua, 1 HP, Truper Expert

- Se utiliza cuando se quiere bombear un mayor volumen de agua. Ideal para bombear el agua de la cisterna al tinaco
- Altura máxima: **33 m**
- Flujo máximo: **159 L/min**
- Profundidad máxima de succión: **8 m**
- Motor de inducción tipo jaula de ardilla con arranque por capacitor de uso continuo y bobinas de aluminio
- Impulsor de nylon más ligero que el latón, previene la oxidación y brinda mayor facilidad de arranque
- Doble voltaje de alimentación (115 V / 230 V) reduce el consumo de corriente en 230 V
- Carcasa robusta
- Ventilación interna permite el ingreso de aire fresco
- Protector térmico, alarga la vida del motor
- A prueba de goteo

HECHO
EN
MÉXICO



Capacitor para mayor potencia al arranque



Balero metálico



Impulsor de nylon

Certificaciones y garantías

- Cumple las normas: NOM-003-SCFI / NOM-004-ENER / NOM-014-ENER



Especificaciones

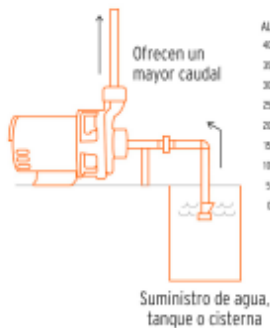
Potencia	1 HP
Altura máxima	33 m
Flujo máximo	159 L/min
Profundidad máxima de succión	8 m
Diámetro de Entrada / Salida	1 1/4" NPT / 1" NPT

Especificaciones

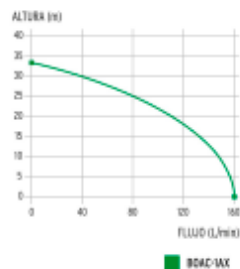
Velocidad	3,450 rpm
Factor de servicio	1.4
Punto de mayor eficiencia	130 L/min a 20 m
Tensión / Frecuencia	(115 V / 230 V) / 60 Hz
Consumo	(15.4 A / 7.7 A)
Dimensiones (Base x Altura x Fondo)	18 x 21 x 36 cm
Peso	17 kg
Empaque individual	Caja
Inner	1

Imágenes complementarias

Funcionamiento



Curva de rendimiento



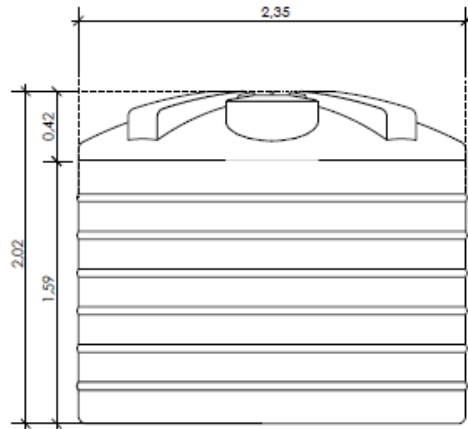
Recomendaciones

- Instalar las bombas en lugares cubiertos.
- Secos y bien ventilados.
- En ambientes cuya temperatura no sobrepase los 40° C.
- Llenar por completo la bomba con agua limpia antes de encender por primera vez.
- Colocar las bombas en posición horizontal en lugares planos y sujetarlas con tornillos.

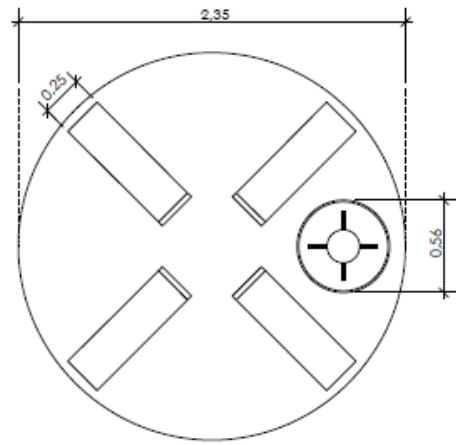
Anexo 7. Ficha Técnica Tanque

ecotank

FICHA TÉCNICA TANQUE 7500 L



VISTA FRONTAL



VISTA SUPERIOR

Calas en metros.

USO:

- Para almacenamiento de agua potable.
- Apto para almacenar hasta 350 tipos de sustancias químicas (se requiere revisión de tabla de resistencias químicas).

CAPACIDAD EFECTIVA:

7500 L aprox (1981 gal).

MATERIAL:

- Copolímero de polietileno lineal de alta densidad, con estabilizador de UV.
- 100% virgen
- Materia prima certificada por la FDA (EE. UU) para consumo humano.

VIDA ÚTIL ESTIMADA:

50 años.

ACCESORIOS INCLUIDOS:

- Válvula baya.
- Conector de HDPE de 2".
- Tapa rosca y aro de HDPE de 18".

GARANTÍA:

5 años contra defectos de fábrica.

PAÍS DE ORIGEN:

Costa Rica, América Central.

PROPIEDAD INTELECTUAL:

Ecotank Rotomolding S.A.
San José, Costa Rica.

Anexo 8. Cotizaciones



- Todo
- Herramientas
- Iluminación
- Artículos para el hogar
- Jardinería
- Detalles y Acabados
- Automotriz

INICIO | PLOMERÍA | TUBO PRESION PVC SDR-17 3/4" - 18 MM X 6 M



Tubo Presion Pvc Sdr-17 3/4" - 18 mm X 6 m

Precio € 9,200.00 i.v.i

SKU: 1061054

CABYS: 3632002039900

Categoría: Plomería

- 1 +

Agregar al Carrito

Guardar para después



- Todo
- Herramientas
- Iluminación
- Artículos para el hogar
- Jardinería
- Detalles y Acabados
- Automotriz

INICIO | PLOMERÍA | TUBO PRESION PVC SDR-26 1" - 25 MM X 6 M



Tubo Presion Pvc Sdr-26 1" - 25 mm X 6 m

Precio € 8,460.00 i.v.i

SKU: 1061066

CABYS: 3632002039900

Categoría: Plomería

- 1 +

Agregar al Carrito

Guardar para después



**Tubo Presion Pvc Sdr-26 1 1/4"- 31 mm X 6 m**

Precio € 16,150.00 i.v.i

SKU: 1061067

CABYS: 3632002039900

Categoría: **Plomería**

Agregar al Carrito

♥ Guardar para después

**Tubo Presion Pvc Sdr-26 1 1/2"- 38 mm X 6 m**

Precio € 21,940.00 i.v.i

SKU: 1061068

CABYS: 3632002039900

Categoría: **Plomería**

Agregar al Carrito

♥ Guardar para después





Tubo Presion Pvc Sdr-26 2" - 50 mm X 6 m

Precio € 35,470.00 i.v.i

SKU: 1061069

CABYS: 3632002039900

Categoría: Plomería

- 1 +

Agregar al Carrito

Guardar para después



Pegamento Pvc Uso General 1/4 Durman

Precio € 15,140.00 i.v.i

SKU: 7037279

CABYS: 3542099990000

Categoría: Adhesivos y aditivos

- 1 +

Agregar al Carrito

Guardar para después





Codo Liso Pvc Presion Sch-40 25 mm X 90°

Precio € 1,100.00.i.v.i

SKU: 7122085

CABYS: 3632098010100

Categoría: [Plomería](#)

- 1 +

Agregar al Carrito

♥ Guardar para después



Codo Liso Pvc Presion Sch-40 18 mm X 90°

Precio € 530.00.i.v.i

SKU: 7122081

CABYS: 3632098010100

Categoría: [Plomería](#)

- 1 +

Agregar al Carrito

♥ Guardar para después



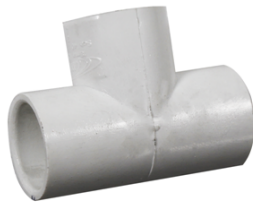
**Tee Lisa Pvc Presion Sch-40 25 mm - 1"**Precio € **1,370.00** i.v.i

SKU: 7122305

CABYS: 3632098010100

Categoría: **Plomería****Agregar al Carrito**

Guardar para después

**Tee Lisa Pvc Presion Sch-40 18 mm - 3/4"**Precio € **580.00** i.v.i

SKU: 7122303

CABYS: 3632098010100

Categoría: **Plomería****Agregar al Carrito**

Guardar para después



**Llave Paso Pvc Bola Lisa Mip 1"- 25 mm**

Precio € 6,810.00 .i.v.i

SKU: 7881987

CABYS: 4324002990000

Categoría: **Fontanería**

- 1 +

Agregar al Carrito

Guardar para después

**Llave Paso Pvc Bola Lisa Mip 3/4"-18 mm**

Precio € 4,670.00 .i.v.i

SKU: 7039229

CABYS: 4324002990000

Categoría: **Fontanería**

- 1 +

Agregar al Carrito

Guardar para después



Reduccion Lisa Pvc Presion Sch-40 50 X 25 mm

Precio € 3,230.00.i.v.i

SKU: 7122190

CABYS: 3632098010100

Categoría: Plomería

- 1 +

Agregar al Carrito

Guardar para después



SKU ZTR-10074 — Categorías Herramientas Eléctricas Costa Rica, Jardín, Todos Los productos

BOMBA CENTRIFUGA P/AGUA 1HP
TRUPER / 10074

Bomba Centrífuga Para Agua De 1Hp Marca Truper 10074

€68,785.00 IVA incluido



Bomba Centrífuga para Agua de 1Hp Marca Truper 10074

Descripción

- Se utiliza cuando se quiere bombear un mayor volumen de agua.
- Ofrece caudal y altura.
- Altura máxima: 36 m.
- Flujo máximo: 116 L/min.
- Profundidad máxima de succión: 8 m.
- Ideal para bombear el agua de la cisterna al tinaco.
- Motor cerrado, con aletas exteriores que ayudan a una mejor ventilación.
- Compacta y silenciosa.
- Cumple las normas: NOM-003-SCFI / NOM-004-ENER/ NOM-014-ENER.

Características

- Potencia: 1 HP.
- Altura máxima: 36 m.
- Flujo máximo: 116 L/min.
- Profundidad máxima de succión: 8 m.
- Diámetro de Entrada / Salida: 1" NPT.
- Velocidad: 3,450 rpm.
- Ciclo de trabajo: 50 minutos de trabajo por 20 minutos de descanso.
- Máximo diario: 6 horas.
- Tensión / Frecuencia: 127 V / 60 Hz.
- Consumo: 11 A.
- Dimensiones (Base x Altura x Fondo): 20 x 25 x 31 cm.
- Peso: 12 kg.

Cotización No. 376931

6 de Julio del 2023

Señor(a) (es)
ADRIAN FONSECA (99)
Presente

Atención: Señor(a) **CLIENTE DE CONTADO**

Id Mercadeo:

Asunto/Referencia:

Tel: 22220000 / Fax:

Estimado (a) (s) Señor (a) (es):

Tenemos el agrado de presentar para su evaluación nuestra cotización por el siguiente concepto:

Código	Descripción	Cant.	Precio/Unit.	Total
7PG-755-M3012-E	CLORADOR ACCU-TAB MODELO 3012CAPACIDAD 6,8 KG - 7C	1.00	550,063.00	550,063.00
H15-25-UNIT	TABLETA ACCU-TAB CA(OCL)2 65%3 BLANCA 325 GR C/U A	1.00	2,105.00	2,105.00
H15-25	TABLETA ACCU-TAB CA(OCL)2 65%3" BLANCA CUBETA 25 K	1.00	126,207.00	126,207.00

(*) Artículo exonerado del IVA	SUBTOTAL.....	678,375.00
	(+) Impuesto (IVA).....	88,188.75
	PRECIO TOTAL (COLONES)	766,563.75

Notas

- La mercadería que sea enviada por encomienda, a solicitud del cliente, viaja por cuenta y riesgo de éste. Corporación Font no se hará responsable por posibles daños provocados por el transportista.

Validez de la Cotización

7 días

Condiciones de Pago

Contado, previo a la entrega.

Condiciones de Entrega

Inmediato en nuestras bodegas, salvo venta previa.

Lugar de Entrega

Instalaciones de Corporación Font

Garantía



Cédula Jurídica: 3-101-008736
Tel: (506) 2296-9010 Fax: (506) 2220-1854

www.corporacionfont.com

Página 2 de 2

Cotización No. 376931

(7PG-755-M3012-E , H15-25 , H15-25-UNIT)
1 año contra defectos de fabricación y mano de obra.

Agradecemos la confianza en nuestra empresa y el interés brindado a esta oferta.

Atentamente,

SOLIS CALVO WILLIAM RONALD
william.solis@font.co.cr

SOLIS CALVO WILLIAM RONALD
william.solis@font.co.cr

ESTIMADO CLIENTE:

Usted es nuestra razón de existir. Por eso nos hemos certificado ISO 9001, para mejorar y brindarle un servicio de mejor calidad. Estaremos muy agradecidos de recibir sus sugerencias y comentarios por medio de nuestro sitio web www.corporacionfont.com (sección Contáctenos)

¡MUCHAS GRACIAS!



LA CASA DEL TANQUE S.A.

Cédula Jurídica: 3101191210
Teléfono: 22273722 - Fax: 22265218

Cliente	FONSECA GUTIERREZ ADRIAN GERARDO	FECHA	07/07/2023
Atención	FONSECA GUTIERREZ ADRIAN GERARDO	Nº cotización	91332
Teléfonos	8867745 - Fax	Cotizador	ESCALANTE ZAMORA ROY

Cantidad	Código	Descripción	I.V.A	Precio Unitario	Precio Total
1.00	01-007501	TANQUE INDUSTRIAL ECOTANK 7500 LTS AZUL ESTANDAR	N	906,894.67	906,894.67

Monto en Letras	Subtotal	906,894.67
Un millón veinticuatro mil setecientos noventa colones con 98/100	Descuento	0.00
	I.V.	117,896.31
	Total	1,024,790.98



Fecha: 11/07/2023 7:55 a.m.

Importaciones Campos Rudin S.A
Cédula Jurídica: 3 101 142717
Guadalupe, San Jose
Teléfono: (+506) 2257- 4604
Email: ventas@camposrudin.com

Proyecto:
Cliente: 999 - ADRIAN FONSECA
Identificación: ND
Dirección:

Contacto: ADRIAN FONSECA
Teléfono:
E-mail: ventas2@camposrudin.com

Sirva la presente para hacer llegar la oferta solicitada según su solicitud.
Es responsabilidad del cliente leer, aprobar y verificar los datos descritos en este documento.

Cotización: VEN000013362

Código	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Descuento	Total
901005001	TANQUE 500L V ELBI (AFV-500 CE 10 BAR MEMBRANA)	1,00	UND	¢630.000,00	% 5,00	¢598.500,00
CABYS:4222001009900						

La moneda en este documento es: Colones

SubTotal: ¢630.000,00
Descuento: ¢31.500,00
IVA: ¢77.805,00
Total: ¢676.305,00

seiscientos setenta y seis mil trescientos cinco y 00 / 100

Entrega: INMEDIATA SALVO PREVIA VENTA
Método de Pago: CONTADO TARJETA O TRANSFERENCIA
Válidez de la oferta: 1 DIA HABIL
Instalación: NO INCLUYE INSTALACION

Nota:

“El código CABYS indicado en nuestra oferta de productos y/o servicios es una referencia”