

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

**DISEÑO DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PRIMARIO DE
AGUA POTABLE Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN
UNA VIVIENDA DEL SECTOR SAN BARTOLO**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO PRIMARIO DE
AGUA POTABLE MEDIANTE EL USO DEL AGUA LLUVIA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR
EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

MELANIE ELIZABETH NACIMBA CHULCA

DIRECTOR: ING. SANDRA PATRICIA PANCHI JIMA

DMQ, septiembre 2022

CERTIFICACIONES

Yo, MELANIE ELIZABETH NACIMBA CHULCA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



MELANIE ELIZABETH NACIMBA CHULCA

melanie.nacimba@epn.edu.ec

melanienacimba@hotmail.com

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por MELANIE ELIZABETH NACIMBA CHULCA, bajo mi supervisión.



Ing. Sandra Patricia Panchi Jima, Mgtr.

DIRECTOR

sandra.panchi@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

MELANIE ELIZABETH NACIMBA CHULCA

ING. SANDRA PATRICIA PANCHI JIMA, Mgtr.

DEDICATORIA

En primer lugar, este trabajo va dedicado a quienes han sido mi gran inspiración, mi motivación y mi apoyo incondicional durante toda mi vida: mis padres y mi hermana. A mis padres les debo todo lo que soy, me han brindado siempre el apoyo para continuar con mis estudios, siempre han confiado en mí y han demostrado estar orgullosos por todo lo que he hecho. A mi hermana, la luz de mi vida, que me motiva a seguir adelante para lograr brindarle una buena vida.

A mi gran amor, que sé que si aún estaría conmigo estaría muy orgullosa de mí, otro de mis grandes motivos para seguir, mi abuelita Marina, le amo y le extraño tanto.

A toda mi familia, y amigos que siempre me apoyaron y me dieron palabras de ánimo para continuar.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Sonia Chulca y Carlos Nacimba. Gracias por ayudarme a seguir adelante con mis estudios y nunca me han retirado su apoyo porque siempre han confiado en mí. Por siempre darme fuerzas y entender aquellos momentos en los que sentía que ya no podía seguir, porque siempre han estado para mí demostrándome su amor y enseñándome más cosas de la vida.

A mis tías y tíos, Ana, Mario, Alex, Patricia, José Luis Chulca, José Luis Nacimba y Jaime, ustedes siempre me han demostrado su apoyo incondicional y siempre me dieron palabras de ánimo para seguir adelante. Gracias por su cariño y apoyo.

A mi mejor amiga, Cristina Fonseca, con quien he tenido el placer de compartir momentos desde que ha llegado a mi vida. Iniciamos este nuevo ciclo de universidad juntas y lo terminamos juntas, has sido un gran apoyo en todos estos 10 años de amistad. Gracias por estar en mi vida, y acompañarnos en este trayecto que necesitamos mucho la una de la otra.

A todos los docentes que nos brindaron sus conocimientos y que puede ser que les hicimos perder un poco de su paciencia. Al ingeniero Santiago Guerra a quien le tengo mucha confianza, admiración y agradecimiento por su apoyo, sus conocimientos y su experiencia a lo largo de la carrera. Al ingeniero Eduardo Vásquez sus conocimientos brindados que me servirán para la vida profesional y su apoyo en el proyecto.

A nuestra directora de tesis, ingeniera Patricia Panchi, por sus conocimientos, apoyo y colaboración en la culminación de este presente proyecto.

Agradezco a la Institución Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), que me brindó la información para completar el inicio de este proyecto.

Finalmente, considero agradecer a los artistas que me inspiran y que su música fue un gran aliento y acompañamiento en este camino, a mis chicos de Bangtan Sonyeondan y Tomorrow by Together. Su música también me ha ayudado en momentos donde sentía que no quería seguir, me hicieron feliz cuando estaba estresada y necesitaba distraerme.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN.....	X
ABSTRACT	XI
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos.....	1
1.3 Alcance.....	1
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Información Hidrometeorológica	2
1.4.2 Parámetros de calidad del agua.....	3
1.4.3 Normativas aplicables.....	5
1.4.4 Componentes de un sistema de abastecimiento y distribución de agua lluvia.....	6
2 METODOLOGÍA.....	10
2.1 Descripción física del lugar de estudio.....	10
2.2 Levantamiento topográfico.....	11
2.3 Análisis de calidad del agua lluvia	12
2.3.1 Temperatura	13
2.3.2 Potencial Hidrógeno, conductividad y oxígeno disuelto.....	13
2.3.3 Turbiedad.....	13
2.3.4 Demanda Química de Oxígeno.....	14
2.3.5 Nitritos, nitratos y sulfatos	14
2.3.6 Sólidos.....	14
2.4 Diseño de los componentes del sistema.....	15
2.4.1 Sistema de captación.....	15
2.4.2 Sistema de almacenamiento.....	19
2.4.3 Sistema de filtrado	20
2.4.4 Sistema de distribución.....	21
2.4.5 Sistema de recolección.....	21
2.4.6 Sistema de bombeo	24
2.4.7 Desinfección	28

2.4.8 Presupuesto.....	29
2.4.9 Dibujo en CIVIL 3D y en AUTOCAD	29
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
3.1 Análisis de laboratorio.....	30
3.1.1 Determinación de sólidos	30
3.2.2 Determinación de parámetros de análisis de calidad del agua.....	30
3.2 Oferta y demanda de agua lluvia	31
3.3 Capacidad del tanque interceptor de primeras aguas y tanque de almacenamiento .	34
3.4 Sistema de recolección del agua lluvia	35
3.4.1 Caudal de la canaleta	35
3.4.2 Caudal bajante.....	36
3.4.3 Rejilla.....	36
3.5 Cálculos del sistema de bombeo	37
3.5.1 Caudal de la tubería.....	37
3.5.2 Altura dinámica total	37
3.5.3 Potencia de la bomba	39
3.6 Eficiencia de los tratamientos	40
3.6.1 Eficiencia del filtro lento de arena.....	40
3.6.2 Desinfección	41
3.7 Mantenimiento del sistema de captación y distribución de agua	42
3.8 Presupuesto.....	43
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
4.1 Conclusiones	45
4.2 Recomendaciones	47
5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
6 ANEXOS.....	51
ANEXO I. Turnitin	51
ANEXO II. Normativa.....	53
ANEXO III. Información adicional.....	56
ANEXO IV. Planos.....	59
ANEXO V. Catálogos.....	63
ANEXO VI. Tablas	65
ANEXO VII. Memoria técnica.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipos y métodos para determinar los parámetros	12
Tabla 2. Volumen de agua según el tipo de inodoro	18
Tabla 3. Diámetros para los aparatos sanitarios	26
Tabla 4. Factores A y B según accesorio, tramo de succión.....	27
Tabla 5. Factores A y B según accesorio, tramo de impulsión.....	27
Tabla 6. Parámetros de calidad del agua	30
Tabla 7. Determinación de oferta y demanda mensual.....	32
Tabla 8. Diferencia entre oferta y demanda	33
Tabla 9. Dosificación de hipoclorito de sodio	41
Tabla 10. Presupuesto de implementación futura	43
Tabla 11. Presupuesto de compra de bidones.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rejilla para remoción de sólidos.....	7
Figura 2. Estaciones meteorológicas en la zona	10
Figura 3. Imagen referencial del lugar del proyecto.....	11
Figura 4. Imagen referencial del filtro de arena	21
Figura 5. Canaleta tipo J	21
Figura 6. Precipitación promedio mensual período de 20 años	33
Figura 7. Diferencia entre el volumen diario disponible y la demanda diaria	34
Figura 8. Eficiencia del filtro lento de arena en remoción de SST y DQO	40
Figura 9. Eficiencia del filtro lento de arena en remoción de Turbidez.....	41

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de sólidos totales.....	14
Ecuación 2. Cálculo de sólidos suspendidos totales	15
Ecuación 3. Cálculo de sólidos disueltos totales.....	15
Ecuación 4. Cálculo del área de captación	16
Ecuación 5. Precipitación promedio mensual	17
Ecuación 6. Oferta de agua pluvial	17
Ecuación 7. Demanda mensual	18
Ecuación 8. Caudal total del inodoro	19
Ecuación 9. Dotación total para las necesidades hidrosanitarias.....	19
Ecuación 10. Volumen tanque interceptor de primeras aguas	19
Ecuación 11. Cálculo área transversal de la canaleta tipo J	22
Ecuación 12. Cálculo perímetro mojado de la canaleta tipo J	22
Ecuación 13. Cálculo del caudal de pasa por la canaleta	22
Ecuación 14. Cálculo del radio hidráulico	23
Ecuación 15. Caudal máximo pluvial	23
Ecuación 16. Cálculo del radio hidráulico con 1/3 de capacidad.....	24
Ecuación 17. Caudal de bajante	24
Ecuación 18. Caudal para el inodoro	24
Ecuación 19. Ecuación de Bernoulli.....	25
Ecuación 20. Ecuación de pérdidas de carga por longitud.....	25
Ecuación 21. Velocidad de flujo en la tubería	26
Ecuación 22. Ecuación longitud equivalente	26
Ecuación 23. Potencia de una bomba	27
Ecuación 24. Volumen del tanque hidroneumático	28
Ecuación 25. Volumen de cloro	28

RESUMEN

El presente proyecto plantea el diseño de un sistema de abastecimiento y distribución de agua apta para consumo humano, que se desarrolló mediante el aprovechamiento del agua lluvia para cumplir con la demanda en cuanto a las necesidades hidrosanitarias de los habitantes de un domicilio ubicado en el barrio San Bartolo, sur de Quito.

Para llevar a cabo la propuesta, se presenta como una de las secciones del documento; la metodología, donde se indica el proceso que se siguió para cumplir con los objetivos planteados. Se menciona la obtención de información bibliográfica, meteorológica y planimétrica del sitio del proyecto y diseño del sistema para determinar los criterios, las cantidades y las dimensiones necesarias de cada componente del sistema. Se establecen como componentes del sistema de aprovechamiento de agua lluvia: la captación, la conducción, el tratamiento, el almacenamiento y la distribución.

Además, se indica el procedimiento de un análisis de calidad de agua básico realizado para determinar el estado en el que se encuentra el agua lluvia destinada a ser aprovechada para el uso doméstico.

Por último, se puede observar el apartado de resultados donde se interpretan los datos e información obtenidos del procedimiento realizado. De igual manera, se presenta un presupuesto que conllevaría una posible futura implementación del proyecto.

PALABRAS CLAVE: agua lluvia, sistema de captación, sistema de distribución

ABSTRACT

This project proposes the design of a water supply and distribution system suitable for human consumption, which was developed through the use of rainwater to meet the demand in terms of the hydrosanitary needs of the inhabitants of a home located in the San Bartolo neighborhood, south of Quito.

The methodology is presented as one of the sections of the document, which indicates the process that was followed to meet the objectives set. Mention is made of obtaining bibliographic, meteorological and planimetric information of the project's place to determine the criteria, quantities and dimensions necessary for each component of the system. They are established as components of the rainwater use system: collection, conduction, treatment, storage and distribution.

In addition, the procedure of a basic water quality analysis carried out to determine the state of rainwater destined for domestic use is indicated.

Finally, the results section shows the data and information obtained from the procedure carried out are interpreted. Likewise, a budget is presented that would entail a possible future implementation of the project.

In addition, the procedure of a basic water analysis carried out to determine the quality of rainwater intended to be used for domestic purposes is shown.

KEYWORDS: rainwater, rainwater harvesting system, distribution system

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Se propone el aprovechamiento del recurso natural de agua pluvial, mediante el diseño de un sistema de recolección de lluvia y su distribución posterior a un tratamiento adecuado, a las instalaciones hidrosanitarias existentes en la vivienda de estudio. El diseño del sistema debe cumplir con los parámetros necesarios para brindar un servicio eficiente y de calidad destinado para la familia habitante de la vivienda. Asimismo, el agua distribuida debe cumplir con las normativas vigentes en el Ecuador para garantizar que el agua sea apta para consumo humano. El componente desarrollado consiste en: diseñar una propuesta técnica de un sistema de captación y distribución del recurso hídrico con todos sus componentes, requerimientos y dimensiones. Se establece como productos finales: un documento que contiene los respectivos planos del sistema, información necesaria para su entendimiento, el presupuesto referencial del sistema y además una memoria técnica como documento entregable en donde se detallan los aspectos técnicos del proyecto.

1.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de abastecimiento de agua potable a través del uso de agua lluvia en una vivienda de San Bartolo.

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar levantamiento de información del sistema de captación actual de la vivienda.
2. Diseñar el sistema de captación, tratamiento y distribución del agua potable en la vivienda.
3. Elaborar los planos de diseño y presupuesto del sistema propuesto.

1.3 Alcance

La vivienda ubicada en el barrio San Bartolo en la ciudad de Quito no cuenta con un sistema de repartición de agua adecuado para cumplir con los parámetros técnicos de un sistema eficiente. Por lo que, el presente proyecto se enfoca en la evaluación del estado del sistema de distribución y abastecimiento de agua perteneciente a la vivienda mediante el respectivo levantamiento de información planimétrica y pluviométrica de la zona. También se presenta el análisis de la calidad que tiene la lluvia del sector para garantizar su uso sin repercusiones. Las actividades planteadas permiten diseñar un sistema de captación, recolección y distribución que entregue agua apta para consumo humano en condiciones adecuadas de cantidad, calidad y la disponibilidad mediante el aprovechamiento del

recurso pluvial. Con el diseño del sistema de abastecimiento de agua que cumpla con las condiciones adecuadas planteadas se indica el presupuesto que conllevaría una futura implementación del proyecto. Además, se presenta como elementos finales; un entregable que consiste en la memoria técnica de la propuesta.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Información Hidrometeorológica

La planificación de una obra hidráulica necesita de información acerca de la precipitación, además de la duración y frecuencia de ésta dependiendo del sitio en que se desarrollará el proyecto. La información del comportamiento meteorológico brindada por el INAMHI proviene de 72 estaciones pluviográficas y 219 estaciones pluviométricas que se encuentran en el Ecuador (INAMHI, 2015).

- Precipitación

La precipitación es el resultado de la evaporación y condensación del agua (Gonzaga, 2015), además, es uno de los componentes que ayudan a determinar si la implementación de una obra de captación es factible o no (FAO, 2000). El agua lluvia se caracteriza por su pureza, debido a que proviene de un proceso natural y puede ser aplicada a escala doméstica sin necesitar de mayor tratamiento (Gonzaga, 2015).

El promedio anual de las precipitaciones en la sierra ecuatoriana varía entre los 800 y 1500 mm (Varela & Ron, 2020). Con respecto a la ciudad de Quito, sus precipitaciones varían anualmente entre 350 mm a 4500 mm (Secretaría del Ambiente DMQ, 2016).

- Temperatura

La temperatura en el Ecuador depende de la geografía, por lo que en la Costa y Amazonía se tienen temperaturas altas correspondientes a un clima tropical, mientras que temperaturas templadas y frías pertenecen a la Sierra Ecuatoriana (Portilla, 2018).

- Humedad relativa

La humedad relativa se encuentra relacionada con la precipitación o cantidad de lluvia que cae, de igual forma, se relaciona con la temperatura de la zona, siendo así que los valores máximos de humedad relativa se encuentran en los meses de época invernal y los valores mínimos se ubican en los meses de sequía o verano (Portilla, 2018).

En una investigación realizada en el período de 1980-2006 se estimó que la humedad relativa promedio del país se conserva sobre el 70%, lo que indica que el valor no baja de este porcentaje en todo el año (Portilla, 2018).

- Evaporación del agua libre

Las superficies como océanos, ríos, lagos, entre otros, perciben y aceptan la energía solar y pierden agua a través de la evaporación. El vapor que proviene del agua se condensa y de esta manera cambia para convertirse en lluvia (FAO, 2013)

1.4.2 Parámetros de calidad del agua

Para el aprovechamiento del agua lluvia como agua apta para consumo humano es necesario garantizar que las características físicas, químicas y biológicas sean las adecuadas y cumplan con condiciones descritas en las normativas vigentes en Ecuador.

La zona de estudio se ubica cerca de la industria "Fosforera Ecuatoriana S.A" por lo tanto, para evaluación de la calidad del agua lluvia se tomó en consideración la medición de parámetros físicos-químicos específicos como pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez, DQO, sulfatos, nitritos y nitratos los cuales determinarán la calidad y confirmarán o descartarán la existencia de lluvia ácida.

- Parámetros físicos-químicos
 - Potencial Hidrógeno (pH)

El pH del agua indica una medida del equilibrio entre ácido y base, en aguas naturales el valor de pH depende de la concentración de dióxido de carbono. El aumento de la concentración de dióxido de carbono reduce el pH, mientras que la disminución de concentración aumenta el valor de pH (WHO, 2007).

El pH en agua lluvia natural, es decir, no contaminada, es alrededor de 5.6. La lluvia que tenga un valor menor a 5.6 es considerada lluvia ácida (Baird & Cann, 2012).

- Conductividad

La conductividad eléctrica del agua permite obtener información de la concentración total de iones disueltos que se encuentran presentes en el agua (Boyd, 2016) y su capacidad para conducir corriente eléctrica. Su unidad es en micromho por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$) o milisiemens por centímetro (mS/cm) en el SI (IDEAM, 2006). El valor de la conductividad en el agua lluvia es usualmente, menor a 50 $\mu\text{mho/cm}$ (Boyd, 2016).

- Turbidez

Característica óptica que permite medir transparencia del agua. La materia presente en el agua como materia inorgánica, materia orgánica, entre otros indican la medida de la cantidad de luz que se dispersa. Mayor intensidad de la luz dispersa, mayor turbidez (Water Science School, 2018b).

Valores altos de turbidez pueden afectar la desinfección, debido a que puede incitar el aumento de bacterias al igual que aumentar la demanda de cloro que se necesitaría en el proceso (Marco et al., 2004).

- Temperatura

La temperatura del agua cumple un papel importante en la actividad y el crecimiento biológicos. Además, tiene influencia en la química del agua, debido a que las reacciones químicas aumentan a temperaturas altas (Water Science School, 2018a).

El agua a temperaturas altas contiene menor cantidad de oxígeno disuelto que el agua fría. El oxígeno disuelto en ciertas ocasiones puede ser insuficiente para la supervivencia de los seres acuáticos (Water Science School, 2018a).

- Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno es insoluble en el agua, así que el oxígeno disuelto se describe como la forma en la que se encuentra presente el oxígeno en el agua. El oxígeno puede encontrarse en el agua de dos maneras: mediante el contacto del agua con la atmosfera o puede ser producido por las plantas acuáticas durante la fotosíntesis (Mesner & Geiger, 2005).

El oxígeno disuelto depende de factores como: temperatura del agua, la turbidez, la profundidad, la turbulencia del agua y del oxígeno que es consumido por la materia orgánica (Water Action Volunteers, 2018).

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es un parámetro definido como un valor de oxígeno que es consumido por la materia orgánica en una oxidación química por un oxidante fuerte (como el dicromato de potasio). Para determinar este parámetro se necesita de un oxidante conocido y de un tiempo de 2 horas para la prueba de DQO. El valor final se obtiene a partir de la diferencia de concentraciones iniciales y restantes de oxidante que se encuentra en la muestra de agua (Hu & Grasso, 2005).

- Sólidos totales

Es el conjunto de materia que se mantiene presente después de una evaporación y secado realizado a 103 °C. El valor de los sólidos totales son el conjunto de material disuelto y material suspendido (Romero, 2009).

Los resultados finales del análisis para determinación de sólidos totales, disueltos y suspendidos se obtienen en mg/l o ppm.

- Nitritos y nitratos

Los valores de nitritos y nitratos que se encuentran presentes en aguas de índole natural son indicadores de la calidad que tiene el agua. Además, se relacionan con el ciclo del nitrógeno tanto del suelo como de las plantas (Cabrera et al., 2003).

- Sulfato

El ion sulfato se encuentra presente en aguas naturales, en aguas lluvias se determina un amplio intervalo de concentraciones que indica la información en relación con la contaminación y fenómenos ambientales (Severiche & González, 2012).

1.4.3 Normativas aplicables

El agua designada para el consumo de los seres humanos debe regirse a normativas vigentes en el país. Por lo tanto, bajo el criterio de calidad de agua para consumo humano y doméstico se consideran la normativa INEN 1108 (2020) y la última versión de la normativa TULSMA (2017). Además, se analizan las características establecidas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11 para parámetros de interés al proyecto como el dimensionamiento de infraestructura hidrosanitaria y dotaciones de agua.

La normativa INEN 1108 establece requisitos del agua para consumo humano (INEN, 2020), las cuales se pueden observar en el anexo 2.1 detallado en este documento.

Con respecto a la normativa TULSMA (2017), se enfoca en cuidar la calidad brindada del recurso agua captada que sea destinada para las distintas actividades destinadas humanas y la naturaleza (TULSMA, 2017). Para este proyecto se toma en consideración los parámetros detallados en la TABLA 1: CRITERIOS DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO del Libro VI del TULSMA en el ANEXO I, en el presente documento la tabla mencionada se encuentra en el anexo 2.2.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11 es una norma nacional cuyo objeto es el establecer las características adecuadas para que los diseños y la construcción de las

instalaciones hidrosanitarias del interior de una edificación garanticen un funcionamiento adecuado en cantidad y calidad en cualquier predio, casa o edificio (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011). La sección de interés de esta normativa para el proyecto es el dimensionamiento de la infraestructura hidrosanitaria interior, donde detalla aspectos como los requisitos del diseño siendo el caudal, la presión y los diámetros de viviendas los que se deben cumplir para un adecuado funcionamiento (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011). Los valores de estos requisitos se encuentran detallados en el anexo 2.3.

El diámetro de la tubería conectada a un suministro en la vivienda, no debe ser menor que se indica para cada aparato hidrosanitario. La velocidad de diseño que debe tener el agua en las tuberías se encuentra entre 0.6 m/s y 2.5 m/s, rango del cual el valor que se considera óptimo es de 1.2 m/s (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011).

Otro aspecto a considerar es la dotación de agua requerida, la cual depende del tipo de edificación en la que se desarrollen los diseños de obras hidrosanitarias. En el anexo 2.4 se indica la dotación que se requiere en litros por habitante por día según el tipo de edificación (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011).

1.4.4 Componentes de un sistema de abastecimiento y distribución de agua lluvia

- Área de captación

Se hace referencia a la superficie por donde va a escurrir la lluvia. La superficie puede tener diferentes presentaciones como el patio de una casa o viviendas con cubiertas de algún material que permita el escurrimiento del agua. La mejor alternativa de superficie de captación es el techo, ya que ofrece mejores ventajas según su condición de permeabilidad (Proyecto del Fondo de Adaptación, 2013).

El material del techo puede ser: de cemento, de lámina metálica, o de tejas de arcilla (Proyecto del Fondo de Adaptación, 2013) cada material tiene su respectivo coeficiente de esorrentía.

- Recolección

Conjunto de canaletas y tuberías que se ubican en los bordes de la cubierta o techo de una vivienda recolectando el agua lluvia que se escurre, además cumple con la acción de conducir el agua desde el área de captación al tanque de almacenamiento y a las

instalaciones hidrosanitarias respectivas. Pueden ser fabricadas de aluminio, lámina galvanizada o PVC (Gonzaga, 2015).

- Rejilla para sólidos gruesos

Separa hojas, ramas, piedras, insectos u otro tipo de sólidos grandes que tienden a ser arrastrados. Se recomienda que su instalación sea en la canaleta para facilitar su limpieza (Proyecto del Fondo de Adaptación, 2013).

Figura 1. Rejilla para remoción de sólidos



Fuente: Fonseca Elsa, 2013.

- Tanque interceptor de primeras aguas lluvias

Su función es recoger las primeras precipitaciones, las cuales surgen de la primera lluvia que generan un lavado del techo. Es decir, capta las impurezas que se encuentran en la cubierta, y evita que sea conducida directamente al tanque de almacenamiento. Para el lavado de cubierta se estima un valor de 1 litro por m² de cubierta, y se recomienda que el material del tanque sea de plástico para economizar presupuesto (Proyecto del Fondo de Adaptación, 2013) .

El interceptor debe tener una llave que ayude a evacuar su contenido después de cada lluvia, para su uso posterior en las próximas lluvias (Proyecto del Fondo de Adaptación, 2013).

- Almacenamiento

Es el componente destinado para acumular el volumen de la lluvia que se necesita para el uso en el hogar. El dimensionamiento del tanque de almacenamiento depende de la cantidad de agua a recolectar, y debe satisfacer las siguientes características: ser impermeable para reducir las pérdidas de agua, debe contar con cubierta para no permitir la entrada de ciertos insectos, de polvo o arena y de la luz solar, debe contar con una cubierta sanitaria que permita la limpieza y mantenimiento del tanque, dispositivos para retiro del agua y drenaje.

Pueden ser fabricados de material como cemento, plástico o metal, las últimas mencionadas brindan una mejor calidad del agua al no añadir elementos físicos y microbiológicos que pueden afectar la calidad y apariencia del agua (Proyecto del Fondo de Adaptación, 2013).

- Tratamiento

El agua destinada al consumo debe ser tratada antes de ser ingerida. Su tratamiento debe enfocarse en la eliminación de las partículas que atravesaron la intercepción de primeras aguas, además se concentra en acondicionar el agua. El proceso puede ser mediante el uso de un filtro lento de arena seguido de una desinfección con cloro (Proyecto del Fondo de Adaptación, 2013).

- Filtro lento de arena

El filtro lento de arena (FLA) es primordial en la mejora de la calidad del agua debido a su eficacia, facilidad de diseño, operación y mantenimiento. Según un estudio realizado por (Gualteros & Chacón, 2015), el filtro lento de arena con el lecho filtrante: carbón activado tienen una eficiencia de remoción de turbidez de 92%, y con arena fina una eficiencia de 88%. Mientras que la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales del filtro con arena fina es de aproximadamente 90% (Moncada, 2017). Un filtro con carbón activado como material filtrante tiene 89% de eficiencia en remoción de DQO (Hernández & Chaparro Tatiana, 2020).

El filtro lento de arena se aplica sin ningún pretratamiento, cuando el agua tiene valores de turbidez menores a 10 NTU (Gualteros & Chacón, 2015). Los filtros lentos de arena caseros consisten en un tanque de unos 200 a 250 litros con arena fina que ocupa 2/3 del volumen del tanque. Además, se instalan columnas o cartuchos de carbón activado y plata coloidal para mejorar las características organolépticas del agua, cuentan con una instalación de un tridente de tuberías de PVC al fondo del filtro (OPS, 2010). Este tipo de filtro puede entregar agua filtrada desde 2,5 a 25 litros por hora, por lo cual se debe almacenar el agua en tanque para tener una reserva (González et al., 2015).

- Desinfección

El proceso más común y recomendado es la cloración por su fácil adquisición y costo accesible. El procedimiento se realiza con químicos como el hipoclorito de sodio o también el dióxido de cloro (Proyecto del Fondo de Adaptación, 2013). El proceso de cloración debe realizarse después de una sedimentación o filtración y en un período mínimo de 30 minutos (Herrera, 2010).

- Red de Distribución

La salida del tanque de almacenamiento hacia la vivienda se conforma por un tubo de PVC, Polipropileno o Hierro Galvanizado (Comisión Nacional del Agua, 2016). La red de distribución del sistema consiste en la conducción del agua recogida desde la captación, y sigue un recorrido por: el tanque interceptor de primeras aguas, filtro de arena, almacenamiento y finalmente llega a las instalaciones hidrosanitarias.

- Sistema de bombeo

Un sistema de bombeo se conforma de elementos mecánicos y eléctricos que tienen la función de transformar la energía procedente de un motor a energía en forma de presión o velocidad que puede ser aprovechada por un fluido para de esta manera cumplir con los requisitos de caudal y presión para diferentes procesos (Quiroz, 2016).

Se encarga de distribuir el agua desde el tanque de almacenamiento dirigiéndola a las instalaciones hidrosanitarias. La tubería de succión tiene que ubicarse con 50 cm de diferencia con el fondo del tanque de almacenamiento para prevenir la succión de material sedimentado en el tanque (Palacio, 2010).

- Sistemas hidroneumáticos

Su función es mantener la presión constante en las tuberías. Lo que permite que el líquido tenga una presión y flujo adecuados, sin importar la distancia que tengan los equipos y artefactos que proporcionan agua (Argueta, 2011).

Una de las ventajas de este tipo de sistemas es que se evita construir tanques elevados, por lo que se utilizan tanques que se encuentran parcialmente llenos de aire a presión y permiten que la red hidráulica cuente con una presión adecuada, facilita el funcionamiento de lavadoras, regaderas y el llevado rápido de depósitos en inodoros, etc. Los sistemas hidroneumáticos funcionan según el principio de compresibilidad o elasticidad del aire cuando se encuentra sometido a presión (Argueta, 2011).

2 METODOLOGÍA

La ejecución del proyecto se realizó en varias etapas; la primera etapa consistió en el levantamiento de información bibliográfica e información planimétrica y pluviométrica de la zona de estudio. Se ejecutaron actividades para la obtención de puntos georreferenciados de la vivienda, para conocer la ubicación e información de las instalaciones hidrosanitarias existentes en la vivienda. En la segunda etapa se llevaron a cabo las actividades para la determinación de la calidad del agua, se tomó en consideración aquellos parámetros que pueden estar presentes en el agua lluvia y representen cierta interferencia en el uso del agua lluvia para consumo. La tercera etapa consistió en diseñar los componentes del sistema de captación del agua lluvia y conducción del agua apta para consumo, de acuerdo con los criterios establecidos que permitan disponer de un sistema que brinde agua en cantidades y calidad adecuadas, esta etapa se llevó a cabo mediante diversos cálculos de capacidades y dimensiones que se necesitan para diseñar el sistema de captación y distribución según la información bibliográfica obtenida. Finalmente, la cuarta etapa se desarrolló con la obtención del presupuesto y la ejecución del documento entregable.

2.1 Descripción física del lugar de estudio

La vivienda de estudio se encuentra en la provincia de Pichincha en el barrio San Bartolo, que se encuentra al sur de Quito.

Debido a su ubicación se determinó que la estación meteorológica que se encuentra próxima al lugar del proyecto es la Estación de Izobamba (M003) según se observa en la figura 2.



Figura 2. Estaciones meteorológicas en la zona

Fuente: INAMHI, 2015.

2.2 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico del sitio del proyecto se realizó previa la preparación del terreno donde se hizo un desbroce y limpieza del espacio alrededor de la vivienda de interés, debido a que el exceso de vegetación ocasionaba un problema para acceder a los distintos puntos de la vivienda. El proceso fue requerido para determinar la ubicación de la caja de revisión y obtener las distintas mediciones del lugar.



Figura 3. Imagen referencial del lugar del proyecto

Fuente: Google Maps, 2022

Se realizó un reconocimiento del estado del techo, del material y se analizó su factibilidad como área de captación.

Luego de los debidos reconocimientos de la casa y del terreno, con ayuda del equipo GPS se obtuvieron las coordenadas de distintos puntos y se creó un perímetro al relacionar: los diferentes puntos de la vivienda, el borde cercano a la quebrada (Río Machángara), los puntos del terreno y los puntos de las instalaciones de interés (baño, cocina, caja de revisión).

Para obtener los diferentes puntos georreferenciados se procedió de la siguiente manera:

1. Se realizó un reconocimiento del terreno, los límites a considerar y se determinaron que puntos pueden ser útiles.
2. Se ubicó en el primer punto de interés y con ayuda del GPS y una manipulación correcta de éste, se obtuvo el dato de las coordenadas en UTM y la altitud.

- Se prosiguió con todos los puntos de interés, y se logró obtener en total 20 puntos en relación del terreno y la caja de revisión, además se localizaron puntos de coordenadas tanto de la cocina como del baño.

La información obtenida de coordenadas, altitudes y descripciones se ingresó al software de dibujo CIVIL 3D con lo cual se consiguió un plano general de la vivienda y del terreno en donde se localiza. El plano se puede observar en el anexo 4.1.

2.3 Análisis de calidad del agua lluvia

La muestra de agua para analizar fue recolectada directamente en baldes, ya que es el sistema actual con el que cuenta la vivienda. Los baldes fueron previamente lavados antes de la recolección del agua lluvia para disminuir interferencias en su análisis.

La recolección se realizó un día antes del análisis en laboratorio por lo que la muestra recolectada fue preservada en envases de vidrio a 4°C en refrigeración hasta el siguiente día. Las muestras se movilizaron al laboratorio de Agua y Saneamiento Ambiental de la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT).

En la tabla 1 se puede observar los parámetros que se analizaron, además de los equipos y métodos que se utilizaron para determinar cada parámetro.

Tabla 1. Equipos y métodos para determinar los parámetros

Parámetro	Equipo		Método/Programa
Temperatura	Termocupla		
pH	Multiparámetros		
Conductividad	Multiparámetros		
Oxígeno Disuelto	Multiparámetros		
Turbiedad	Turbidímetro		

DQO	Espectrofotómetro y digestor		Programa HACH 430
Nitritos	Espectrofotómetro		Programa HACH 371
Nitratos	Espectrofotómetro		Programa HACH 353
Sulfatos	Espectrofotómetro		Programa HACH 490
Sólidos (Totales, suspendidos y disueltos)	Balanza analítica		Método gravimétrico

2.3.1 Temperatura

La temperatura es un parámetro importante de medir, depende del sitio y la hora de la medición por lo que se debe medir in situ. En este caso, se midió la temperatura a distintos tiempos en distintos días con ayuda de una termocupla. Cada dato obtenido por la termocupla se puede observar en la tabla 6.

2.3.2 Potencial Hidrógeno, conductividad y oxígeno disuelto

El pH, conductividad y oxígeno disuelto son parámetros que se deben medir in situ. Sin embargo, debido a la necesidad de supervisión para la manipulación del multiparámetro, su medición se realizó en laboratorio. El procedimiento consistió en ingresar el multiparámetro una vez este fue calibrado a 1 litro de la muestra de agua que se encontraba en un recipiente. Se obtuvo la información de estos parámetros una vez se proyectaron en la pantalla del equipo.

2.3.3 Turbiedad

La turbiedad del agua lluvia de la muestra se estableció mediante el uso de un turbidímetro portátil de marca HACH perteneciente al laboratorio de Agua y Saneamiento Ambiental de

la ESFOT. Se realizó la determinación en primer lugar, encerando el turbidímetro con una celda de blanco de agua destilada, luego se ingresó una celda con la muestra y se obtuvo el valor de la turbiedad que contiene la muestra de agua lluvia.

2.3.4 Demanda Química de Oxígeno

Para establecer el valor de la DQO se realizó mediante el uso del equipo y procedimiento indicados en la tabla 1. Se procedió con el proceso indicado en el manual del equipo HACH, donde indica el tiempo que toma el análisis de este parámetro y su respectivo procedimiento en el uso del digestor y el espectrofotómetro.

2.3.5 Nitritos, nitratos y sulfatos

Los valores de nitritos, nitratos y sulfatos se determinaron con lo indicado en la tabla 1 para cada parámetro y se siguió el procedimiento indicado en el manual HACH para cada uno.

2.3.6 Sólidos

El agua lluvia puede arrastrar ciertos sólidos que se encuentren en el aire. Para conocer si existe la presencia de sólidos en el agua lluvia, se procedió con la determinación de sólidos totales (ST), sólidos disueltos totales (SDT) y sólidos suspendidos totales (SST). La muestra analizada se obtuvo un día antes del análisis y se mantuvo en refrigeración a 4° C hasta el siguiente día para su procedimiento. Se llevó la muestra al Laboratorio de Ingeniería Ambiental (LDIA) de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental (FICA), y se realizó el procedimiento con el método gravimétrico para determinar la presencia de sólidos en líquidos. Para lo cual se realizaron procesos de pesaje, filtración y evaporación para luego determinar los sólidos.

Para la determinación de sólidos totales, se tomaron 25 mililitros de la muestra y se colocó en un crisol para luego ingresar el crisol junto al líquido a un horno a 105 °C, se obtuvo la masa antes y luego de la evaporación, para determinar los sólidos con la siguiente ecuación:

$$ST = \frac{(Pb - Pa) [g]}{\text{Volumen de la solución [ml]}}$$

Ecuación 1. Cálculo de sólidos totales

Donde:

ST: Sólidos totales [ppm]

Pa: Masa del crisol vacío [g]

Pb: (Masa del crisol + residuo de la muestra tras evaporación (105 °C)) [g]

Asimismo, para la determinación de sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales se tomaron otros 25 mililitros de la muestra, se filtró el agua y se colocó el filtro en un crisol y el residuo filtrado en otro, para luego ingresar ambos crisoles a un horno a 105°C para la evaporación. Los crisoles fueron pesados antes y después de la evaporación. Se utilizó una variación de la ecuación 1, debido a que se usa un filtro en el análisis y se aumenta un peso. Por lo tanto, sus respectivas ecuaciones se presentan a continuación:

$$SST = \frac{(P2 - P1) [g]}{\text{Volumen de la solución [ml]}}$$

Ecuación 2. Cálculo de sólidos suspendidos totales

Donde:

SST: Sólidos suspendidos totales [ppm]

P1: Masa del crisol vacío + filtro de membrana [g]

P2: (Masa tras evaporación (105 °C) del crisol + filtro de membrana + residuo contenido en el filtro) [g]

$$SDT = \frac{(P2 - P1) [g]}{\text{Volumen de la solución [mL]}}$$

Ecuación 3. Cálculo de sólidos disueltos totales

Donde:

SDT: Sólidos disueltos totales [ppm]

P1: Masa del crisol vacío [g]

P2: (Masa tras evaporación (105 °C) del crisol + residuo filtrado) [g]

2.4 Diseño de los componentes del sistema

2.4.1 Sistema de captación

Para la determinación de elementos del sistema de captación fue necesario conocer el área de interés para la captación, el material del techo, el caudal máximo, las precipitaciones mensuales y total de personas beneficiarias del sistema.

- Oferta mensual de agua lluvia o volumen de captación

Para su determinación fue importante conocer el área útil de captación, los valores promedios mensuales de precipitación en un cierto período de tiempo y el coeficiente de escorrentía del material de la cubierta.

- Área útil de captación

El techo de la vivienda es de hormigón, y no cuenta con una pendiente que permita tener un adecuado escurrimiento del agua lluvia. Se propuso una cubierta que tenga una sola inclinación, por lo cual, se consideraron los datos de una lámina de techo de PVC, debido a su vida útil de 30 años, también su facilidad de adquisición e instalación por ser un material común para las edificaciones.

La losa de cubierta tiene como dimensiones: 15,67 metros y 4,05 metros de largo y ancho respectivamente. Se consideró que se implementarán láminas de PVC con una inclinación de 15° con respecto a la horizontal para tener un mejor efecto de escurrimiento del agua lluvia. Por lo tanto, para el área de captación se toma en cuenta la proyección horizontal de inclinación. Para el cálculo del área se utilizó:

$$A_c = L * b$$

Ecuación 4. Cálculo del área de captación

Donde:

L= largo del techo [m]

b= ancho del techo [m]

- Promedio mensual de precipitación

Los valores promedios mensuales de precipitación fueron calculados según los datos de la estación meteorológica Izobamba (M0003). Por lo cual se realizó una solicitud al instituto INAMHI para la adquisición de datos diarios de precipitación de la estación M0003 en un período 2000-2020, sin embargo, la institución sólo entregó la información mensual de la estación meteorológica. Adicionalmente, se obtuvieron los datos de precipitaciones diarias pertenecientes al período comprendido desde el año 1998 a los primeros meses del año 2021 (Puratambi & Amagua, 2021).

Se realizó una comparación de la información mensual brindada por el INAMHI y la información diaria obtenida para así comprobar los valores promedio por meses y por año.

En el anexo 5.1 se pueden observar los datos mencionados. Se procedió a calcular un valor promedio de las precipitaciones mensuales con la ecuación obtenida de (INAMHI, 2015).

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}{n}$$

Ecuación 5. Precipitación promedio mensual

Donde:

P_m: precipitación promedio mensual del mes “i” de los años analizados [mm/mes]

P_i: valor de precipitación mensual del mes “i” [mm]

n: número de años analizados

Los resultados obtenidos mediante este cálculo se encuentran en tabla 7.

- Oferta de agua pluvial

Finalmente, luego de la obtención de todos los datos necesarios se procedió a realizar el cálculo de la oferta de lluvia en el sitio de estudio, la ecuación utilizada fue:

$$\text{Oferta} = P_m * C_e * A_c$$

Ecuación 6. Oferta de agua pluvial

Donde:

Oferta: Oferta de agua pluvial [L]

P_m: precipitación promedio mensual de los años evaluados [mm]

C_e: coeficiente de escorrentía [adimensional]

A_c: área útil de captación [m²]

El dato del coeficiente de escorrentía se tomó según el valor determinado para el plástico, el cual tal como se indica en el anexo 3.2 es de 0,95. La ecuación se aplicó para cada mes y así se obtuvieron los valores de oferta mensuales, los cuales se pueden observar en la tabla 7.

- Dotaciones y demanda de agua

La cantidad de agua que se requiere en la vivienda se obtuvo a partir de la aplicación de la ecuación obtenida de (Proyecto del Fondo de Adaptación, 2013). Se consideró una dotación para 4 personas.

$$Di = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000}$$

Ecuación 7. Demanda mensual

Donde:

Di : Demanda por mes [m³]

Nu : Número de usuarios beneficiarios

Nd : Días del mes

Dot : Dotación [L/persona/d]

Para determinar la dotación, en primer lugar, se calculó el caudal total que se consume en el inodoro, para lo que se consideró que cada persona utiliza el inodoro por lo menos 4 veces al día. Además, se utilizó la información que se encuentra en (INEN, 2015) para determinar el volumen de descarga requerido según la clase o tipo de inodoro que tiene la vivienda. La información mencionada se puede observar en la tabla 2 a continuación:

Tabla 2. Volumen de agua según el tipo de inodoro

Tipo de inodoro	Volumen [l]	
Bajo consumo	6,2	
Doble descarga	Sólido 6,2	Líquido 4,1
Alta eficiencia	4,8	

Fuente: INEN, 2015

Para el inodoro de la vivienda se tomó el dato de inodoro de bajo consumo, el cual necesita de un volumen de 6,2 L para realizar la descarga. Con el volumen necesario para el inodoro y la información anteriormente detallada de veces de uso, se calculó el caudal total del inodoro para un día con la siguiente ecuación:

$$Q_i = \frac{N * V}{t}$$

Ecuación 8. Caudal total del inodoro

Donde:

Q_i : caudal total del inodoro [L/hab*d]

V: volumen de agua que requiere cada inodoro para funcionar [L]

t: tiempo [día]

N: número de veces que una persona utiliza el inodoro al día [veces/hab]

Se adicionó el valor que equivale a la demanda de agua para el lavamanos, presente en la vivienda, el dato es de 16 litros, tomado de la información del (BID, 2015). Se consideró sólo el dato para el lavamanos, debido a que la oferta mensual no es suficiente para proveer un caudal para las otras instalaciones hidrosanitarias adicionales al inodoro y lavamanos. Se obtuvo el dato final de la dotación de cada persona por día según la siguiente ecuación:

$$Dot = Q_i + Q_l$$

Ecuación 9. Dotación total para las necesidades hidrosanitarias

Donde:

Dot: Dotación total [L/hab*d]

Q_i: Caudal total del inodoro [m³/s]

Q_l: Caudal necesario para el lavamanos [m³/s]

2.4.2 Sistema de almacenamiento

Para el sistema de almacenamiento se consideró el cálculo de volúmenes para el tanque interceptor de primeras aguas y los tanques de almacenamiento necesarios para el sistema.

- Tanque interceptor de primeras aguas

Para determinar la capacidad del tanque interceptor de primeras aguas se utilizó:

$$V_{pa} = \frac{Ac * h}{1000}$$

Ecuación 10. Volumen tanque interceptor de primeras aguas

Donde:

Vpa: volumen del interceptor de primeras aguas [m³]

Ac: área de captación del agua lluvia [m²]

h: altura del agua para el lavado [m]

- Tanque de almacenamiento

Para determinar la capacidad del tanque de almacenamiento se necesita conocer los datos mensuales de la oferta diaria del agua y el volumen disponible diario de agua. Para lo cual se realizaron los cálculos respectivos para cada mes y se dividió la oferta mensual para los días de cada mes, los datos conseguidos se encuentran en el anexo 6.1.

Para conocer el volumen disponible diario se realizó una diferencia entre la oferta diaria y el volumen del tanque interceptor de primeras aguas, debido a que el agua que ingresa a este primer tanque no accede al sistema de distribución.

Se obtuvo el valor de la capacidad necesaria para el tanque de almacenamiento mediante la diferencia entre la demanda diaria de agua y el volumen diario disponible. Todos los resultados obtenidos de la operación realizada se pueden observar en la tabla 8.

2.4.3 Sistema de filtrado

Se propuso el diseño de un filtro lento de arena para lo cual se tomaron ciertas consideraciones descritas en (OPS, 2010), las cuales fueron: un tanque de 250 litros, 200 kilos de arena fina, tuberías PVC, además de cartuchos de carbón activado.

Para el diseño del tanque de filtración, en primer lugar, se consideró realizar una unión de estructuras de PVC como codos y una tee para formar un tridente como se observa en la figura 4. Los cartuchos de carbón activado se deben instalar en la estructura del tridente y colocarlas al fondo del tanque. La arena debe ser colocada encima de los cartuchos de carbón activado hasta lograr una capacidad de 2/3 del tanque. Además, se consideró que el tanque contará con un flotador para controlar el nivel del agua a filtrar.

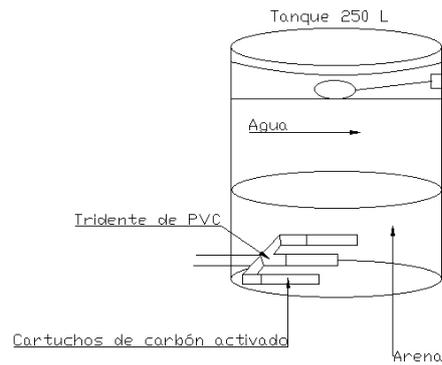


Figura 4. Imagen referencial del filtro de arena

Fuente: OPS, 2010

2.4.4 Sistema de distribución

Es necesario conocer el caudal que pasará por la canaleta que receptorá el agua lluvia.

Además, se consideró que se necesita una bomba para conducir el agua desde el tanque de almacenamiento hacia el inodoro y el lavamanos para cumplir con las cargas de presión mínimas requeridas para las instalaciones hidrosanitarias. Para lo cual fue necesario obtener la potencia de la bomba y la altura dinámica.

2.4.5 Sistema de recolección

Se consideró que la ubicación de la canaleta de recolección será en la parte lateral de la vivienda, por donde escurrirá el agua lluvia.

Las características de la canaleta fueron tomadas de una canaleta comercial de PVC tipo J, la cual se observa en la figura 5. Con esta información se puede determinar el caudal que conducirá la canaleta.

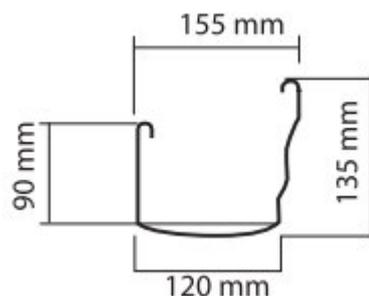


Figura 5. Canaleta tipo J

Fuente: Plastigama

- Caudal de la canaleta

Para conocer el caudal que pasará por la tubería se determinó el área transversal y el perímetro mojado de la canaleta con las ecuaciones 11 y 12 respectivamente.

$$Atr = b * h$$

Ecuación 11. Cálculo área transversal de la canaleta tipo J

Donde:

Atr : área transversal [m²]

b: base de la canaleta [m]

h: altura de la pared más pequeña [m]

$$Pm = b + 2h$$

Ecuación 12. Cálculo perímetro mojado de la canaleta tipo J

Donde:

Pm: perímetro mojado [m]

b: base de la canaleta [m]

h: altura de la pared más pequeña [m]

Una vez que se obtuvo la información necesaria, se utilizó la ecuación 13 para determinar el caudal que podría conducir la canaleta. Es importante considerar el coeficiente de Manning según el material del que está hecha la canaleta, en este caso al ser una canaleta de PVC se utilizó un coeficiente de 0,009, de acuerdo con lo que se detalla en el anexo 3.4.

$$Qc = \frac{1}{n} * Atr * (Rh)^{\frac{2}{3}} * So^{0,5}$$

Ecuación 13. Cálculo del caudal de pasa por la canaleta

Donde:

Qc: caudal de la canaleta [m³/ s]

N: coeficiente de Manning

Atr: área de la sección transversal [m²]

Rh: radio hidráulico [m]

So: pendiente del canal

Para la obtención del radio hidráulico se utilizó la siguiente ecuación:

$$Rh = \frac{Atr}{Pm}$$

Ecuación 14. Cálculo del radio hidráulico

Donde:

Rh: radio hidráulico [m]

Atr: área transversal [m²]

Pm: perímetro mojado [m]

- Caudal máximo de canaleta

Para verificar que el caudal que transporta la canaleta no rebase su capacidad de recolección en un evento fortuito de precipitación máxima se determinó un caudal pluvial considerando la posibilidad de que ocurra este tipo de eventos. Se utilizó la ecuación del Método Racional detallada en INAMHI, 2015.

$$Qll = \frac{C * I * A}{3600}$$

Ecuación 15. Caudal máximo pluvial

Donde:

Qll : Caudal máximo pluvial [l/s]

I : Intensidad de agua lluvia [mm/hora]

C : Coeficiente de escurrimiento

A : Área de drenaje en proyección horizontal [m²]

- Caudal de la bajante de agua lluvia

Para una bajante ubicada de manera vertical según (Salazar, 2016), el caudal que pasa por la bajante es 1/3 de lo que representa el área total de la tubería, se realizaron ciertas modificaciones a las ecuaciones del radio hidráulico que se necesita para aplicar la ecuación de Manning (para determinar velocidad) y a la ecuación del cálculo del caudal. Se obtuvo así las siguientes ecuaciones:

$$Rh = \frac{1}{3} \left(\frac{Atr}{Pm} \right)$$

Ecuación 16. Cálculo del radio hidráulico con 1/3 de capacidad

$$Qb = \frac{1}{3} Abajante * (Rh)^{\frac{2}{3}} * So^{0,5}$$

Ecuación 17. Caudal de bajante

2.4.6 Sistema de bombeo

Las presiones de columnas de agua mínimas tanto para el inodoro como para el lavabo son de 3 m.c.a y 2 m.c.a respectivamente (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011). Debido a que el tanque de almacenamiento no tiene la suficiente altura para cumplir con las presiones requeridas se consideró la incorporación de un sistema de bombeo que permita elevar el nivel del agua, para lo cual se necesitó conocer el caudal que bombeará el equipo y la altura dinámica total luego de considerar todas las pérdidas de carga.

- Caudal de la tubería

Para la determinación del caudal de tubería fue necesario conocer el volumen de agua que necesita el inodoro y el tiempo de llenado los cuales son de 6,2 litros y 15 segundos respectivamente. Por lo tanto, el caudal se calculó con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{Vi}{t_{ll}}$$

Ecuación 18. Caudal para el inodoro

Donde:

Q: caudal de la tubería [L/s]

Vi: volumen de agua necesario para el tanque del inodoro [m³]

t_{ll}: tiempo de llenado del tanque del inodoro [s]

- Altura dinámica total (TDH)

Para el cálculo de la carga dinámica total se consideró todo aquello que genera un obstáculo para que el agua llegue a su destino, por lo cual depende de las pérdidas de carga, velocidad de flujo y presiones. Para lo cual se utilizó la ecuación 19:

$$TDH = z + \frac{v^2}{2g} + \sum h + hr$$

Ecuación 19. Ecuación de Bernoulli

Donde:

TDH: altura dinámica total [m]

z: altura geométrica entre nivel superior e inferior del líquido [m]

$\sum h$: pérdidas por fricción y accesorios [m]

v: velocidad del fluido [m/s]

g: constante gravitacional [m/s²]

hr: presión residual [m]

- Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga se dan en las tuberías y en los accesorios complementarios de éstas.

- Pérdidas por longitud

El efecto de pérdida de carga aumenta según la longitud que tenga el sistema, para su determinación se utilizó la siguiente ecuación obtenida de la norma NEC-11:

$$hf = m * L * \frac{(v^{1,75})}{(D^{1,25})}$$

Ecuación 20. Ecuación de pérdidas de carga por longitud

Donde:

v= velocidad [m/s]

D = diámetro [m]

L = longitud de tubería [m]

m = constante del material del tubo, m = 0.00054, plástico

En primer lugar, se obtuvieron los valores de los diámetros que señala la bibliografía (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011) y que se detallan en la tabla 3. Allí se indica un caudal instantáneo, las presiones mínimas, las presiones recomendadas y los diámetros para cada instalación sanitaria. En el presente estudio se consideró la

información para las instalaciones a las cuales se conducirá el agua mediante el sistema de distribución.

Tabla 3. Diámetros para los aparatos sanitarios

Aparato sanitario	Caudal instantáneo (l/s)	Presión		Diámetro según NTE INEN 1369 (mm)
		Recomendada (m.c.a)	Mínima (m.c.a)	
Inodoro con depósito	0.1	7	3	16
Lavabo	0.1	5	2	16

Fuente: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011

Para la información de la velocidad del flujo se utilizó la ecuación 21:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Ecuación 21. Velocidad de flujo en la tubería

Donde:

V= velocidad de flujo de la tubería [m/s]

Q= Caudal que pasa por la tubería [m³/s]

A=área trasversal de la tubería[m²]

- Pérdidas por accesorios

También conocidas como pérdidas menores, que se dan por los complementos que se utilizan en un sistema de conducción como codos, tees, válvulas, etc. Para su determinación se utilizó el procedimiento de cálculo por longitudes equivalentes, para lo cual se calcula las longitudes equivalentes según los factores correspondientes a cada accesorio con la siguiente ecuación que se obtuvo de la norma NEC-11:

$$Le = \left(A * \left(\frac{D}{25,4} \right) \pm B \right) * \left(\frac{120}{C} \right)^{1,8519}$$

Ecuación 22. Ecuación longitud equivalente

Donde:

Le = longitud equivalente [m]

A, B = factores que dependen del tipo de accesorio, según Tabla 4 y Tabla 5

d = diámetro interno [mm]

C = coeficiente según material de tubería (acero: 120, ... plástico: 150, etc.)

Para el tramo de succión e impulsión se han considerado los siguientes accesorios:

Tabla 4. Factores A y B según accesorio, tramo de succión

Accesorio	Cantidad	Factor A	Factor B
Válvula check o de retención	1	3,20	+0,03

Fuente: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011

Tabla 5. Factores A y B según accesorio, tramo de impulsión

Accesorio	Cantidad	Factor A	Factor B
Codo 90°	2	0,52	+0,04
Tee paso directo	1	0,53	+0,04

Fuente: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011

- Potencia de la bomba

La norma NEC-11 indica que con la altura dinámica y el caudal determinados se calcula la potencia que necesitará la bomba, por lo cual, se aplicó la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q * TDH * \gamma}{75 * n}$$

Ecuación 23. Potencia de una bomba

Donde:

P: potencia de la bomba [HP]

Q: caudal máximo promedio [L/s]

TDH: altura dinámica total [m]

γ : peso específico del agua

n: eficiencia de la bomba, entre 60% a 70%, se consideró una eficiencia de 65%

- Automatización de la bomba

Para la automatización de la bomba se consideraron: un sensor de nivel de agua (flotador), un contactor de 110 v, un interruptor de botón y además un tanque hidroneumático.

- Volumen del tanque hidroneumático

Para la elección del tanque hidroneumático adecuado al tipo de bomba es necesaria la determinación del volumen, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación detallada en la norma NEC-11:

$$V = \frac{K * 0,312 * Qm}{Z * \frac{Pa + Pb}{Pa - Pe}}$$

Ecuación 24. Volumen del tanque hidroneumático

Donde:

V: volumen del tanque hidroneumático [m^3]

K: factor de corrección = 1

Qm: caudal medio de la bomba (promedio de caudales máximos y mínimos) [m^3 / h]

Z: ciclos de arranque [1 h]

Pa: presión máxima de la bomba [bar]

Pe: presión mínima de la bomba [bar]

Pb: presión barométrica [bar]

2.4.7 Desinfección

Para determinar la dosificación de cloro líquido se siguió el procedimiento indicado en el instructivo para técnicos para Tratamiento y desinfección de agua a base de cloro por (Gobierno de la República del Salvador, s/f):

$$V_{cloro} = \frac{V_{agua} * D_{agua}}{C_{cloro}}$$

Ecuación 25. Volumen de cloro

Donde:

V_{cloro} : cantidad de cloro que se agregará [L]

V_{agua} : Volumen de agua que se va a desinfectar [L]

D_{agua} : Dosis de cloro que se debe agregar al agua a desinfectar [mg/ L]

C_{cloro} : Concentración del producto de cloro indicado por el fabricante [mg/ L]

2.4.8 Presupuesto

Se ejecutó la estimación del presupuesto para una implementación futura del sistema diseño. Los valores detallados fueron obtenidos mediante consultas a ferreterías de la ciudad de Quito. Para el apartado de rubro o actividad, se estimaron los elementos según se encuentra comercialmente disponible, debido a que son elementos que ya se encuentran elaborados y tienen características determinadas como la longitud de tuberías, dimensiones de los tanques, etc.

2.4.9 Dibujo en CIVIL 3D y en AUTOCAD

En primer lugar, se realizó el dibujo del levantamiento topográfico, para lo cual se ingresaron las coordenadas y las altitudes obtenidas previamente en el levantamiento topográfico en una hoja de cálculo de Excel, de esta manera se importó la información con formato de coordenadas UTM en el software de dibujo CIVIL 3D. Se crearon curvas de nivel, superficie, grilla para poder observar de manera más detallada el lugar del proyecto.

Luego se continuó con el dibujo de las instalaciones existentes de la vivienda. De igual manera, se realizó el dibujo de los sistemas de captación, almacenamiento y distribución del agua lluvia tratada las cuales fueron previamente diseñadas tal y como se indican en los apartados anteriores donde se obtienen dimensiones, longitudes y datos de interés para el correcto funcionamiento del sistema planteado. Los dibujos fueron realizados en el software AUTOCAD debido a que su uso facilita la distinción de elementos por capas o layers en el programa. De esta manera se logró dimensionar de una manera más sencilla.

Para la elaboración de los planos, tanto del levantamiento topográfico, de las instalaciones sanitarias como del sistema de captación y distribución se utilizó CIVIL 3D debido a que contiene los elementos necesarios de información para implementar en el plano, como la orientación del dibujo. Los planos fueron planteados en hojas de formato A3, y cada puerto de vista cuenta con las escalas que permitan una adecuada visualización de lo realizado.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis de laboratorio

3.1.1 Determinación de sólidos

La determinación de sólidos se realizó mediante el método gravimétrico, por lo cual conllevó el uso de las ecuaciones planteadas en metodología. Para el cálculo correspondiente a sólidos totales se usó la ecuación 1:

$$ST = \frac{(39,0554 - 39,0543) [g]}{25 [mL]} * \frac{1000 [mg]}{1 [g]} * \frac{1000 [mL]}{1 [L]} = 44 \frac{mg}{L} = 44 ppm$$

Se consiguió un valor de sólidos totales de 44 ppm. De igual manera, se realizó el cálculo para sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales con las ecuaciones 2 y 3:

$$SST = \frac{(40,2966 - 40,2962) g \text{ sólidos}}{25 ml \text{ sol}} * \frac{1000 mg \text{ sólidos}}{1 g \text{ sólidos}} * \frac{1000 ml \text{ sol}}{1 L \text{ sol}} = 16 \frac{mg}{L} = 16 ppm$$

$$SDT = \frac{(35,8192 - 35,8180) g}{25 ml \text{ sol}} * \frac{1000 mg \text{ sólidos}}{1 g \text{ sólidos}} * \frac{1000 ml \text{ sol}}{1 L \text{ sol}} = 48 \frac{mg}{L} = 48 ppm$$

El valor de sólidos totales que representa la sumatoria de SST y SDT según el concepto de sólidos totales es de 61 ppm, es diferente al determinado mediante el procedimiento gravimétrico debido a que son diferentes porciones de una misma muestra.

3.2.2 Determinación de parámetros de análisis de calidad del agua

Tabla 6. Parámetros de calidad del agua

Parámetros	Valores obtenidos	Límites permisibles TULSMA 2015	Límites permisibles INEN 1108
Temperatura	1/6/2022 18,1 °C		
	3/6/2022 11,9 °C		
	5/6/2022 12,7 °C		
pH	6,37	6-9	6,5-8
Oxígeno disuelto	73,6 % OD		
Conductividad	0,076 mS/cm		
Turbidez	2,24 NTU	100 NTU	5 NTU
Sólidos Totales	44 mg/L		
Sólidos suspendidos totales	16 mg/L		
Sólidos disueltos totales	48 mg/L		
DQO	42 mg/L	<4 mg/L	
Nitratos	1,4 mg/L N-NO ₃ ⁻	50 mg/L	50 mg/l
Nitritos	0,009 mg/L N-NO ₂ ⁻	0,2 mg/L	3 mg/l
Sulfatos	6 mg/l	500 mg/L	

En la tabla 6 de los resultados de parámetros de calidad de agua se indican los valores obtenidos mediante los análisis en laboratorio y una comparación con las normativas TULSMA (2017) e INEN 1108 (2020). Con la primera normativa se realiza una relación enfocada en la calidad del agua lluvia captada con posibilidad de ser distribuida para consumo del ser humano con un tratamiento adecuado, mientras que con la segunda normativa INEN 1108 se determina si la lluvia captada cumple con los límites permisibles y de esta manera podría ser distribuida en la vivienda sin ningún tipo de tratamiento previo.

Según lo que se puede observar en la tabla 6, el parámetro que no cumple con la normativa es el nivel de la DQO, debido a que sobrepasa el límite permisible de 4 mg/L. Por lo tanto, se establece filtro lento de arena como tratamiento para su reducción hasta alcanzar el valor ideal.

Los valores de sólidos no se encuentran normados, sin embargo, la presencia de sólidos es algo importante a considerar por su influencia en los parámetros organolépticos y el diseño del filtro como tratamiento. Por esta razón se plantea una rejilla para realizar la remoción de sólidos.

La calidad de la fuente hídrica se encuentra dentro de los límites permisibles para agua que se encuentra apta para actividades humanas domésticas y de consumo, sin embargo, siempre es necesario un tratamiento de desinfección.

3.2 Oferta y demanda de agua lluvia

La determinación de la dotación al día por habitante se detalla en la sección de metodología, donde indica que para su cálculo son necesarias las informaciones de caudales para las instalaciones hidrosanitarias. En este caso, se consideraron las instalaciones del inodoro y el lavamanos para establecer la demanda de agua en la vivienda. Para conocer el caudal del inodoro se aplicó la ecuación 8:

$$Q_i = \frac{4 \frac{\text{veces}}{\text{hab}} * 6,2 L}{1 \text{ día}}$$

$$Q_i = 24,8 \frac{L}{\text{hab} * \text{día}}$$

Al valor obtenido se adicionó el valor referencial del caudal del lavamanos de 16 L/hab*día. Los resultados de los caudales se aplicaron en la ecuación 9, y se obtuvo la dotación total.

$$Df = 24.8 \frac{L}{\text{hab} * \text{día}} + 16 \frac{L}{\text{hab} * \text{día}}$$

$$Df = 40.8 \frac{L}{hab * día}$$

Una vez se obtuvo la información de la dotación para cada persona, se procedió a calcular la demanda para cada mes, en la tabla 7 se encuentran los resultados obtenidos de este cálculo.

El valor del área de captación se consiguió tras la aplicación de la ecuación 4 con los datos obtenidos del levantamiento planimétrico, el cual fue de 63,46 m².

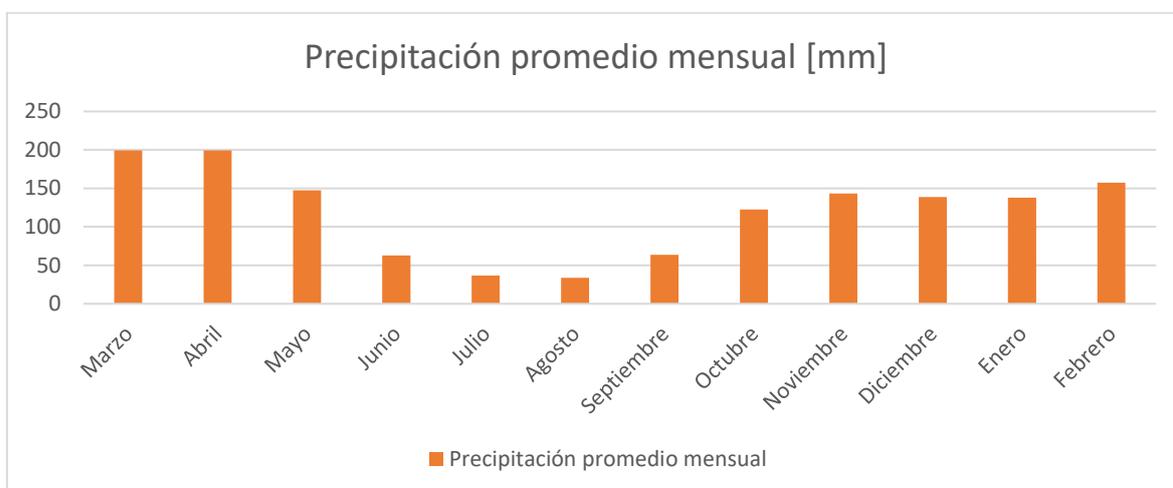
Tabla 7. Determinación de oferta y demanda mensual

Coefficiente de escorrentía		0,95			
Área de captación		63,46 m ²			
Dotación por habitante		40,8 L/hab*día			
Mes	Precipitación promedio mensual [mm]	Oferta mensual [m3]	Oferta mensual acumulada [m3]	Demanda mensual para aparatos sanitarios[m3]	Demanda mensual acumulada [m3]
Marzo	199,51	12,03	12,03	5,06	5,06
Abril	199,25	12,01	24,04	4,90	9,96
Mayo	147,50	8,89	32,93	5,06	15,01
Junio	63,00	3,80	36,73	4,90	19,91
Julio	36,59	2,21	38,94	5,06	24,97
Agosto	33,93	2,05	40,98	5,06	30,03
Septiembre	63,49	3,83	44,81	4,90	34,93
Octubre	122,44	7,38	52,19	5,06	39,98
Noviembre	143,17	8,63	60,82	4,90	44,88
Diciembre	138,56	8,35	69,18	5,06	49,94
Enero	137,96	8,32	77,49	5,06	55,00
Febrero	157,24	9,48	86,97	4,57	59,57

En la Guía de diseño sistema de cosecha de agua lluvia para consumo humano (Proyecto del Fondo de Adaptación, 2013), indica que se debe empezar la tabulación por el mes con mayor precipitación mensual, por lo que en la tabla se colocó el mes de marzo como primer mes para iniciar el cálculo.

Se adicionó una columna a la tabla 7 para indicar la oferta mensual acumulada en el año, cuyo resultado es una oferta anual de 86.97 m³.

Figura 6. Precipitación promedio mensual período de 20 años



En la figura 6 se puede observar que el mes de agosto es el mes que presenta un menor promedio de precipitación mensual, seguido por los meses de julio, junio y septiembre.

Para la demanda mensual también se tomó como primer mes el mes de marzo para tener relación con los cálculos de oferta mensual.

Una vez obtenida la información de oferta disponible y demanda requerida se procedió a calcular la diferencia entre las características de oferta mensual acumulada y demanda mensual acumulada para conocer los meses en los que puede existir una escasez de agua lluvia para su respectivo almacenamiento y distribución. Esta diferencia se encuentra detallada a continuación, en la tabla 8:

Tabla 8. Diferencia entre oferta y demanda

Mes	Oferta mensual acumulada [m3]	Demanda mensual acumulada [m3]	Oferta-demanda
Marzo	12,03	5,06	6,97
Abril	24,04	9,96	14,08
Mayo	32,93	15,01	17,92
Junio	36,73	19,91	16,82
Julio	38,94	24,97	13,97
Agosto	40,98	30,03	10,95
Septiembre	44,81	34,92	9,88
Octubre	52,19	39,98	12,21
Noviembre	60,82	44,88	15,94
Diciembre	69,18	49,94	19,24
Enero	77,49	55,00	22,49
Febrero	86,97	59,57	27,40

En la tabla 8 se observa que los meses que tienen un menor volumen mensual son los meses de marzo, agosto, septiembre y octubre. Esta situación indica que, en el período de 20 años analizados, en los meses que se presenta un menor valor, existe una oferta menor de agua lluvia para ser aprovechada. Mientras que la relación que se tendría con respecto al último mes analizado, el mes de febrero es el que presenta un mayor volumen mensual acumulado.

3.3 Capacidad del tanque interceptor de primeras aguas y tanque de almacenamiento

Para determinar el volumen del tanque interceptor de agua se necesita del valor de la altura del agua para el lavado, por lo cual se tomó en consideración que se consume un litro por metro cuadrado, es decir, una altura de 1mm de agua. La aplicación de la ecuación 10 dio como resultado:

$$V_{pa} = \frac{63,46m^2 * 1mm}{1000} = 0,06346 m^3 = 63,46 L$$

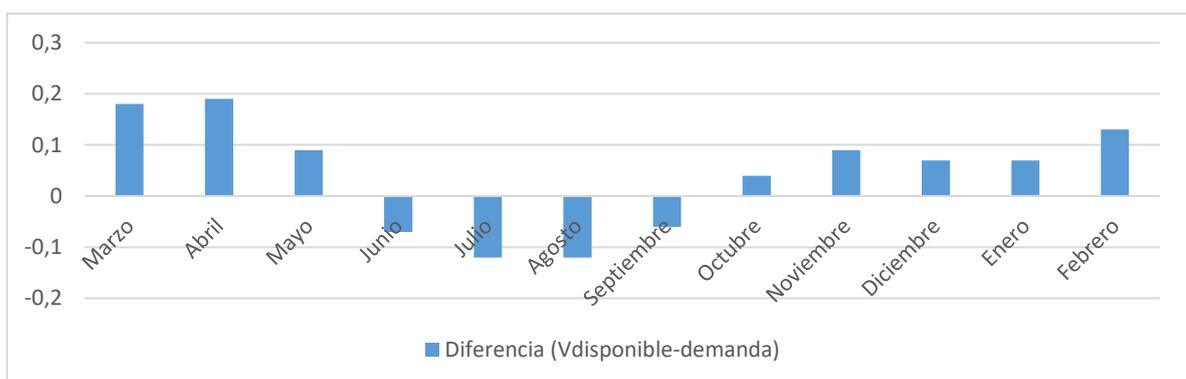
Con este resultado se determinó que se necesita un tanque con la capacidad de 63,46 L.

El tanque interceptor de primeras aguas que se consideró por su disponibilidad de adquisición cuenta con una capacidad de 77 L cercana a la capacidad calculada de 63,46 L. En el anexo 5.1 se pueden observar las dimensiones del tanque considerado.

Adicionalmente, se consideró que el tanque interceptor cuenta con un flotador que ayuda a controlar el ingreso del agua al tanque hasta su llenado. De esta manera el agua restante se dirige a un tanque de almacenamiento y luego al filtro lento de arena.

A continuación, en la figura 7 se presentan los datos de la diferencia realizada entre el volumen diario disponible y la demanda diaria con los datos detallados en el anexo 6.1.

Figura 7. Diferencia entre el volumen diario disponible y la demanda diaria



Con los datos detallados en la figura 7, se pudo determinar que el valor máximo negativo es del mes de agosto y el valor máximo positivo es del mes de abril, por lo tanto, el volumen de almacenamiento es de 0.33 m³ según la sumatoria de los valores máximos. Para una capacidad de 0.33 m³ o 330 litros se escogió un tanque de almacenamiento de agua disponible comercialmente de 500 litros. Se consideró el uso de dos tanques de 500 litros para almacenar el agua antes de la llegada del filtro y luego de que el agua sea filtrada.

El almacenamiento del agua permite que los meses de junio, julio, agosto y septiembre que se indican con déficit puedan abastecerse mediante el agua que se almacenará en el tanque.

3.4 Sistema de recolección del agua lluvia

La canaleta tiene una longitud de 3 metros, por lo tanto, se necesitan de 5 canaletas para abarcar toda la extensión de la vivienda de 15,67 m.

3.4.1 Caudal de la canaleta

Para la obtención del caudal de la canaleta se obtuvieron los valores del área transversal de la canaleta y el radio hidráulico con la aplicación de las ecuaciones 12, 13 y 15.

$$A_{tr} = \frac{120mm}{1000} * \frac{90mm}{1000} = 0,0108 m^2$$

$$P_m = \frac{120mm}{1000} + 2 \left(\frac{90mm}{1000} \right) = 0,3 m$$

$$R_h = \frac{0,0108 m^2}{0,3 m} = 0,036 m$$

Los valores obtenidos se reemplazaron en la ecuación 14. Además, se consideró una pendiente mínima de 0,005:

$$Q = \frac{1}{0,009} * 0,0108 m^2 * (0,036 m)^{\frac{2}{3}} * 0,005^{0,5}$$

$$Q = 9.25 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Se realizó una comparación del caudal obtenido con un caudal máximo para conocer si es posible el uso de la canaleta escogida. Para la determinación de un caudal máximo se consideró un evento fortuito que puede ocurrir en un período de retorno de 10 años. En el anexo 3.3 se indica que para el período de retorno indicado se da una intensidad máxima

de 124.14 mm/h en un tiempo de 5 minutos. La información mencionada se reemplaza en la ecuación 16 y se obtiene un valor de:

$$Q_{ll} = \frac{0,9 * 124,14 * 63,46}{3600} = 1,97 \text{ l/s}$$

$$Q_{ll} = 1,97 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

El flujo que puede circular por la canaleta es mayor que el caudal de lluvia que puede suceder en un evento imprevisto de gran precipitación. Por lo tanto, la canaleta elegida es adecuada para la vivienda.

3.4.2 Caudal bajante

Para la obtención del caudal de la bajante, según se describe en la sección de metodología se tiene que el caudal de la bajante ocupa una tercera parte del área de la bajante, por lo cual se aplicaron las ecuaciones 16 y 17, se consideró una pendiente igual a 1 debido a su inclinación de 90°, y se obtuvieron los siguientes resultados:

$$Rh = \frac{1}{3} \left(\frac{0,06477 * 0,06121}{2(0,06477) + 2(0,06121)} \right) = 0,0052 \text{ m}$$

El Rh se reemplaza en la ecuación 20, por lo tanto, el caudal de la bajante tiene un valor de:

$$Q_b = \frac{1}{3} (0,06477 * 0,06121) * (0,0052)^{\frac{2}{3}} * 1^{0,5} = 0,00004 \frac{m^3}{s} = 0,04 \text{ L/s}$$

Por lo tanto, el caudal que pasará por la bajante alcanza un valor de 0,04 l/s.

Se consideraron accesorios adicionales a la bajante, como uniones de bajante, unión de canaleta y bajante para completar el diseño de la red de conducción del agua.

3.4.3 Rejilla

Para la rejilla se consideró que su tamaño debe adecuarse a las dimensiones de la estructura de canaletas, para facilitar su limpieza. Por lo cual, se considera el uso de una malla metálica disponible comercialmente con las dimensiones de: 15,51 metros de largo y un ancho de 15,5 cm.

3.5 Cálculos del sistema de bombeo

3.5.1 Caudal de la tubería

Se obtuvo el caudal que se necesita para el inodoro con la aplicación de la ecuación 21 y las consideraciones que se indican en la sección de metodología. Con lo cual se tiene un caudal de inodoro de:

$$Q = \frac{6,2 \text{ l}}{15 \text{ s}} = 0,41 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0,00041 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El caudal de 0.00041 m³/s es el caudal para el inodoro, mientras que para el caudal del lavamanos se consideró el caudal instantáneo de 0.1 l/s según lo indica (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011) en la tabla 4.

Por lo cual, el caudal final de la tubería es la sumatoria de ambos caudales y se obtiene un caudal total de 0,00051 m³/s.

3.5.2 Altura dinámica total

Para la determinación de la altura dinámica total, se consideraron tanto pérdidas de carga por longitud como pérdidas de carga por accesorios. Los cálculos de pérdidas de carga se realizaron para los tramos de succión e impulsión.

En la norma NEC-11 se indica que el diámetro para las instalaciones hidrosanitarias es de 16 mm. Comercialmente existe una tubería con un diámetro interior de 16,8 mm y un diámetro nominal de 20 mm según se puede observar en el anexo 5.4. Por lo cual, se consideró el uso de un diámetro de 16,8 mm para los cálculos necesarios.

Se aplicó la ecuación 21 y se obtuvo una velocidad de:

$$v = \frac{0,00051 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\left(\frac{\pi(0,0168 \text{ m})^2}{4}\right)} = 2,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La velocidad obtenida se encuentra dentro del rango de 0.6 m/s y 2.5 m/s indicada en (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011).

- Para el tramo de succión:

Se reemplazó el valor de la velocidad y una longitud de tubería desde el tanque de almacenamiento a la bomba de 0,6 metros (según se observa en el anexo 4.3) en la ecuación 20 y se obtuvo:

$$hf = 0,00054 * 0,6 * \frac{(2,3)^{1,75}}{(0,0168)^{1,25}} = 0,23 \text{ m}$$

Para calcular las pérdidas por accesorio se consideraron los factores A y B detallados en la tabla 4 y se reemplazaron en la ecuación 22:

$$Le = \left((3,20) * \left(\frac{16,8 \text{ mm}}{25,4} \right) + (0,03) \right) * \left(\frac{120}{150} \right)^{1,8519}$$

$$Le = 1,42 \text{ m}$$

Una vez se obtuvo la longitud equivalente se reemplazó en la ecuación 20.

$$hac = 0,00054 * 1,42 * \frac{(2,3)^{1,75}}{(0,0168)^{1,25}} = 0,54 \text{ m}$$

Para obtener la pérdida total en el tramo de succión se procedió a sumar pérdidas por longitud y por los accesorios, se tiene una pérdida de carga total por succión de:

$$hs = 0,23 + 0,54 = 0,77 \text{ m}$$

- Para el tramo de impulsión:

Se consideró un valor de longitud de la tubería de 18,02 m hasta la llegada al lavamanos. El valor de la longitud en la ecuación 20 es de:

$$hf = 0,00054 * 18,02 * \frac{(2,3)^{1,75}}{(0,0168)^{1,25}} = 6,91 \text{ m}$$

El proceso de cálculo se realizó de manera similar que el tramo de succión:

$$Le = \left((2(0,52) + 0,53) * \left(\frac{16,8 \text{ mm}}{25,4} \right) + (3(0,04)) \right) * \left(\frac{120}{150} \right)^{1,8519}$$

$$Le = 0,77$$

$$hac = 0,00054 * 0,77 * \frac{(0,64)^{1,75}}{(0,0168)^{1,25}} = 0,29 \text{ m}$$

Para obtener la pérdida total en el tramo de impulsión se sumaron las pérdidas tanto por longitud como por los accesorios, se calcula una pérdida de carga total por impulsión de:

$$him = 6,91 + 0,29 = 7,2 \text{ m}$$

Una vez obtenidas las pérdidas de carga totales para los tramos de succión y de impulsión, cada valor se reemplazó en la ecuación 19, para determinar la altura dinámica total.

Para el valor de la presión residual, se considera la presión mínima que indica la norma NEC-11 para cada aparato sanitario. Según se observa en el anexo 2.3, la presión mínima del inodoro de tanque es de 3 m.c.a y para el lavabo es de 2 m.c.a.

La altura geométrica según se observa en el anexo 4.3, es de 3,14 m, así que se reemplazó en la ecuación 19 y se obtuvo:

$$TDH = 3,14 + \frac{(2,3 \frac{m}{s})^2}{2(9,81 \frac{m}{s^2})} + (7,2 + 0,77) + (3 + 2)m$$

$$TDH = 16,38 \text{ m}$$

3.5.3 Potencia de la bomba

El valor de la altura dinámica total obtenida indica la presión total necesaria para que el agua se distribuya correctamente a las instalaciones hidrosanitarias. Debido a que no existe la suficiente diferencia de nivel entre la ubicación del tanque de almacenamiento y las instalaciones, se debe considerar una bomba de agua para conseguir la presión mínima indicada por la norma NEC-11.

Por lo cual se aplica la ecuación 23 para obtener la potencia necesaria de una bomba:

$$P = \frac{0,51 \frac{l}{s} * 16,38 \text{ m} * 1}{75 * 0,65} = 0,17 \text{ HP}$$

Comercialmente, se cuenta con bombas de agua con potencia desde 0.15 HP. Por lo tanto, se escoge una bomba de agua con potencia 0.5 HP, para asegurar que cumpla con la potencia requerida y cumplir con una potencia más alta de seguridad para eventos extraordinarios que requieran más trabajo. Las características de la bomba escogida se pueden observar en el anexo 3.7.

Además de la bomba se obtuvo información de un tanque hidroneumático. Para determinar la capacidad del tanque hidroneumático se necesitan ciertas consideraciones para su cálculo. Por lo cual, para los ciclos de arranque la norma NEC-11 indica que la potencia de la bomba se relaciona con el número de ciclos que se dan por horas, para la potencia de la bomba considerada se tuvo un valor de 20 ciclos por hora, según se puede observar en el anexo 3.6.

Para el caudal medio se tiene la información necesaria en la ficha técnica de la bomba APm37, que se encuentra en el anexo 5.5, donde el caudal mínimo es de 5 l/min y el caudal

máximo es de 40 l/min, por lo tanto, se tiene un caudal de bombeo medio de 17,5 l/min. Luego se aplicó la ecuación 24 y se obtuvo un volumen de:

$$V = \frac{1 * 0,312 * (1,29 \frac{m^3}{h})}{20 * (\frac{2,76 \text{ bar} + 0,72 \text{ bar}}{2,76 \text{ bar} - 1,39 \text{ bar}})}$$

$$V = 0,00645 \text{ m}^3 = 6,45 \text{ L}$$

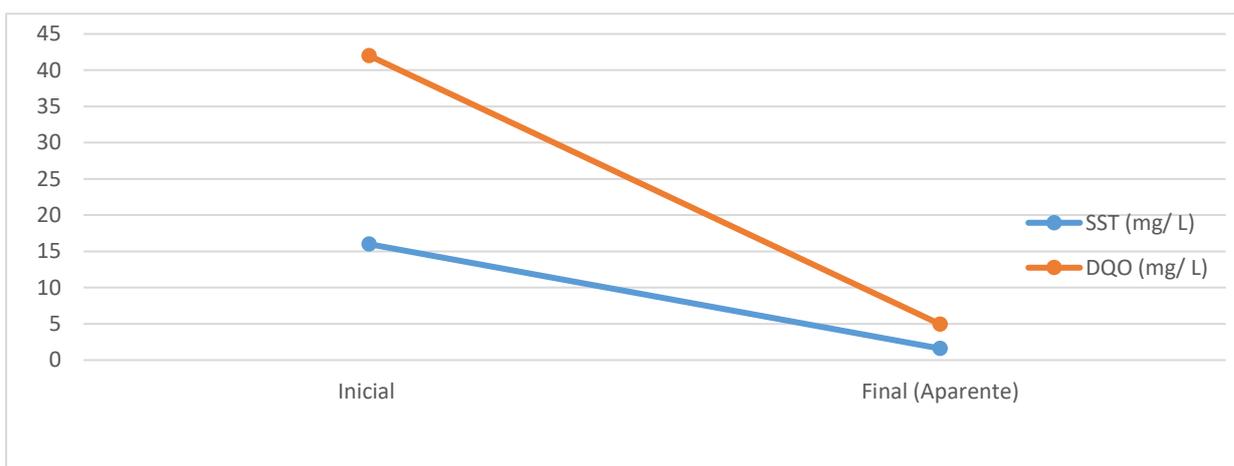
El volumen del tanque hidroneumático requerido es de 6,45 L, sin embargo, se considera un tanque hidroneumático de 24 L debido a su disponibilidad comercial. Por lo tanto, se escoge un sistema hidroneumático que cuenta con un tanque de 24 L y una bomba de agua de 0.5 HP, las características de este sistema de bombeo disponible comercialmente se encuentran en el anexo 5.5.

3.6 Eficiencia de los tratamientos

3.6.1 Eficiencia del filtro lento de arena.

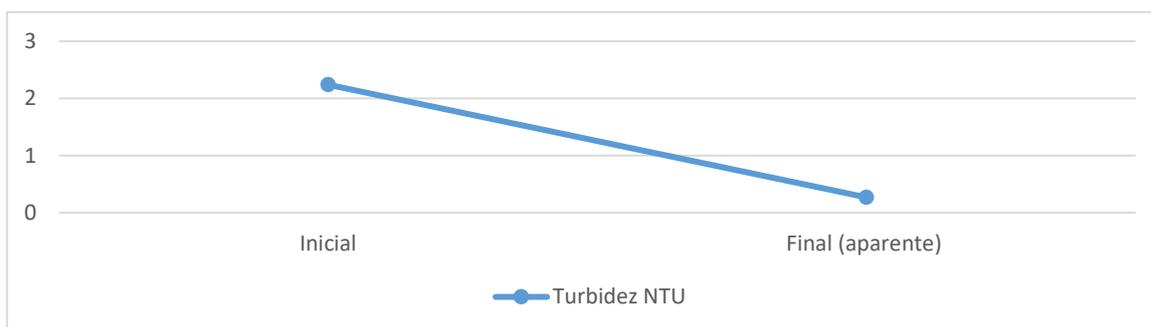
Los valores finales aparentes una vez el agua pase por el filtro lento de arena se obtienen según las eficiencias de remoción referenciales indicadas en el marco teórico, los valores esperados se detallan en el anexo 6.2.

Figura 8. Eficiencia del filtro lento de arena en remoción de SST y DQO



En la figura 8, se puede observar la línea azul que representa la remoción que tuvo el agua con respecto a los valores de SST y la línea anaranjada que representa el valor de la DQO que referencialmente se removería mediante el uso del FLA. Mientras que en la figura 9 a continuación se puede observar el comportamiento de disminución de turbidez en el agua una vez ha pasado por el filtro lento de arena.

Figura 9. Eficiencia del filtro lento de arena en remoción de Turbidez



A pesar de encontrarse por debajo del límite máximo permisible, al disminuir su valor puede indicar un mejor aspecto del agua y generar más aceptación visual para su consumo.

3.6.2 Desinfección

Normalmente la concentración del producto se encuentra en porcentaje, en este caso, el producto seleccionado para la desinfección es un hipoclorito de sodio líquido con una concentración de 10%. Según la información indicada en (Gobierno de la República del Salvador, s/f), un hipoclorito con concentración de 5% equivale a 50 000 mg/l, por lo tanto, para una concentración de 10% se tiene un 100 000 mg/l.

Según el instructivo de tratamiento y desinfección del agua a base de cloro (Gobierno de la República del Salvador, s/f), la dosis de cloro recomendada para una la desinfección del agua en tiempo normal es de 1 mg/ L. Con la información necesaria considerada se procedió a realizar el cálculo diario para cada mes. Los volúmenes necesarios de cloro se pueden observar a continuación:

Tabla 9. Dosificación de hipoclorito de sodio

Mes	V disponible diario [L]	V disponible diario acumulado [L]	Vcloro [L]
Marzo	324.53	324.53	0.003
Abril	336.95	661.49	0.007
Mayo	223.39	884.87	0.009
Junio	63.15	948.03	0.009
Julio	7.690	955.72	0.010
Agosto	2.522	958.24	0.010
Septiembre	64.12	1022.36	0.010
Octubre	174.66	1197.02	0.012
Noviembre	224.24	1421.26	0.014
Diciembre	206.00	1627.26	0.016
Enero	204.83	1832.09	0.018
Febrero	275.10	2107.19	0.021

Según el Gobierno de la República del Salvador, un volumen de 0.004 L de cloro equivale a 80 gotas o la mitad de una tapa plástica de gaseosa. Por lo cual, se debe considerar que para cada cantidad de cloro que se debe añadir se debe relacionar con la equivalencia de cloro para tener una dosificación adecuada.

En dosificaciones adecuadas de hipoclorito de sodio la eficiencia llega a alcanzar valores cercanos a 100%, por lo tanto, al cumplirse con la dosificación diaria determinada se cumpliría con su función y se evitaría problemas de exceso de cloro.

3.7 Mantenimiento del sistema de captación y distribución de agua

Para un correcto funcionamiento y eficiencia del sistema planteado se han establecido ciertas actividades para un mantenimiento y limpieza de los componentes del sistema, según se indica el texto de Sistema de captación y filtrado de aguas lluvia (OPS, 2010).

En primer lugar, se tiene el tanque interceptor de primeras aguas, para lo cual una vez este primer tanque mencionado se llena, el flotante considerado permitirá que el agua que rebose pase al primer tanque de almacenamiento mediante el codo dispuesto para esta actividad. El tanque interceptor debe ser vaciado luego de cada lluvia.

La limpieza del tanque de almacenamiento se considera para evitar el crecimiento de materia orgánica como algas, hongos y bacterias que puede surgir por el agua en reposo. Para lo cual se procura realizar una limpieza semestral de las paredes internas del tanque, las dimensiones del tanque destinado para el sistema permiten que una persona adulta con la adecuada protección personal realice sin problemas la limpieza interna.

Para el adecuado funcionamiento del filtro lento de arena se debe siempre mantener unos 5 cm de altura del volumen de agua por encima de la capa de arena, para procurar que la actividad biológica se dé con continuidad. Los filtros tienen un período de funcionamiento de 2 a 4 semanas antes de que se necesite una limpieza del material filtrante y el tiempo de filtración sea más lento de lo cotidiano.

Como primer procedimiento del lavado del filtro se necesita vaciar el agua del filtro, luego se debe retirar con una espátula o cuchara una altura de 5 a 10 cm de arena sucia a un contenedor que permita lavar la arena. El lavado debe realizarse solo con agua, una vez se encuentre lavada la arena se regresa al filtro, se lo coloca la capa de arena de manera uniforme.

Verificar fugas de los tanques, estado de los accesorios y de la bomba cada 6 meses.

3.8 Presupuesto

A continuación, se presentan los costos de material y mano de obra supuestos para una implementación futura del sistema de captación y distribución de agua diseñado.

Tabla 10. Presupuesto de implementación futura

PRESUPUESTO			
RUBRO/ACTIVIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO [\$]	VALOR TOTAL [\$]
SISTEMA DE CAPTACIÓN			
Canaleta 3 m	5	19.79	98.95
Teja ASA PVC	15	8	120
Soporte de metal para la cubierta	1	20	20
Unión de canaleta	4	5.4	21.6
Unión esquina exterior	1	13.72	13.72
Tapa interna	2	1.58	3.16
Unión de canal a bajante	1	7.04	7.04
Bajante 3 m	1	16.7	16.7
Soporte plástico de canal	3	1.08	3.24
Tee reductora E/C	1	4.72	4.72
Malla metálica	2	5.21	10.42
TOTAL			319.55
INTERCEPTOR DE PRIMERAS AGUAS			
Tanque plástico 77 L	1	15	15
Codo de bajante 90°	2	4.02	8.04
Flotador	1	8.04	8.04
TOTAL			31.08
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y DESINFECCIÓN			
Tanque plástico 500 L	2	102.75	205.5
Tuberías 20mm	3	5.33	15.99
Codo 90°	3	0.21	0.63
Hipoclorito de sodio (líquido 4 L)	1	8	8
TOTAL			230.12
FILTRO LENTO DE ARENA			
Tanque plástico 250 L	1	62.23	62.23
Cartucho carbón activado	3	9	27
Arena (saco 45 kg)	5	4.48	22.4
Cruz E/C 25 mm	1	3	3
Codo 90°	2	0.21	0.42
Adaptador 3/4" a 25 mm	1	1	1
Flotador	1	8.04	8.04
TOTAL			124.09

SISTEMA DE BOMBEO			
Tuberías 20 mm	8	5.33	42.64
Sistema hidroneumático	1	150	150
Codo 90°	3	0.21	0.63
Tee	1	0.8	0.8
Válvula check	1	3	3
Contador 110 V	1	15	15
TOTAL			212.07
MANO DE OBRA			
Limpieza y desbroce/ día	1	20	20
Construcción del sistema /día	3	20	60
TOTAL			80
TOTAL DEL PROYECTO			996.91

La implementación futura del sistema de captación y distribución de agua lluvia tiene un valor de 996.91 dólares.

Para obtener una comparación con otra alternativa que los habitantes de la vivienda tendrían que utilizar para satisfacer las actividades de las instalaciones hidrosanitarias, se estableció un valor referencial de uso mensual de bidones de agua.

Tabla 11. Presupuesto de compra de bidones

# BIDONES/DÍA	# BIDONES/MES	VALOR UNITARIO [\$]	VALOR TOTAL [\$]
8	240-248	3	720-744

Cada bidón tiene una capacidad de 20 litros, por lo que se necesitan 8 bidones para satisfacer diariamente las instalaciones hidrosanitarias estudiadas, lo que representa un valor entre 720 a 744 dólares mensuales que se deben invertir. Siendo así, que se genera un gasto anual entre 3600 y 5208 dólares.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Con el levantamiento de información planimétrica se obtuvieron los puntos georreferenciales de zonas de la vivienda y el lugar de estudio, con lo cual se logró la creación de un plano general donde se indica todos los datos obtenidos mediante el uso del GPS y con ayuda del software AUTOCAD. El plano indica las instalaciones existentes en la vivienda y el espacio disponible que existe en el terreno para una posible implementación del sistema de captación y distribución de agua lluvia.
- El sistema de captación de agua lluvia existente en la vivienda no es suficiente para brindar un agua apta para su utilización ni cuenta con la suficiente cantidad para satisfacer las necesidades fisiológicas de los habitantes de la vivienda.
- La diferencia entre el volumen disponible diario de agua lluvia y demanda diaria de agua en la vivienda, indica que, en los meses de junio a septiembre existirá un déficit de abastecimiento. Sin embargo, el sistema permitirá el almacenamiento de volúmenes que lograrán compensar este déficit mencionado.
- El sistema de captación y distribución cuenta con canaletas, una bajante y tuberías que permiten la distribución a través de las distintas operaciones y tanques del agua captada, que es recolectada tratada y finalmente distribuida a las instalaciones hidrosanitarias consideradas.
- Las capacidades de los tanques han sido seleccionadas según su disponibilidad en el mercado y su proximidad con la capacidad obtenida teóricamente. Se obtuvo un volumen de 310 litros necesario para el almacenamiento del agua lluvia captada, por lo que se escogió una capacidad del tanque de almacenamiento de 500 L, para asegurar el almacenamiento en posibles eventos extraordinarios de lluvia.
- El único parámetro analizado que no cumple con el límite máximo permisible para un agua apta para consumo humano es la DQO, por lo cual el filtro lento de arena y carbón activado está destinado para la reducción de su valor. El FLA tiene una eficiencia de remoción de DQO aproximada de 89%, y el valor

final aparente que tendría la DQO del agua lluvia analizada es de 3.6 mg/L. Con este tratamiento ya se encuentra dentro del límite necesario.

- El uso de cloro como químico para la desinfección es debido a su facilidad de adquisición por ser lo más común y por su bajo costo.
- Para garantizar la correcta distribución del agua almacenada a las instalaciones hidrosanitarias se necesitó diseñar un sistema de bombeo, debido al incumplimiento de las presiones mínimas de 3 m.c.a y 2 m.c.a requeridas para el inodoro y el lavamanos respectivamente.
- El agua lluvia destinada a ser captada y distribuida cuenta con una calidad apta para el consumo humano, debido a que se encuentra por debajo de los límites permisibles que establecen las normativas ecuatorianas vigentes para garantizar un agua que puede ser consumida y no conlleve algún problema o enfermedad.
- El diseño del sistema de captación y distribución de agua potable se consiguió tras realizar distintos cálculos para determinar: la oferta y demanda requerida para la vivienda, las capacidades requeridas para los distintos tanques a utilizar en el sistema, caudales requeridos y dimensiones tanto de tuberías como las canaletas.
- Con toda la información obtenida se elaboraron planos en el software AUTOCAD, donde se indica la ubicación de cada elemento del sistema elaborado y la red de distribución que conduce el agua captada hasta las instalaciones hidrosanitarias consideradas.
- El sistema se encuentra diseñado para almacenar agua que abastecería en las épocas que presentan un déficit de precipitación y que no abastecería con la suficiente dotación para cumplir con las demandas de cada habitante de la vivienda.
- El costo de una implementación futura del proyecto es de \$996.91. De esta manera se genera un gasto menor que la compra anual de bidones de agua. Además de tener un aprovechamiento del recurso natural hídrico que normalmente se desperdicia.

4.2 Recomendaciones

- En caso de implementación del proyecto, es recomendable, el abastecimiento adicional de agua potable proveniente de bidones o una cisterna, la cual va dirigida al uso en la cocina. Debido a que el sistema de captación de agua lluvia no es suficiente para abastecer otra instalación además del inodoro y el lavamanos.
- Para obtener una información más certera de la calidad del agua brindada se recomienda realizar el análisis de los parámetros con distintas repeticiones y por un período de tiempo más extenso, de al menos un mes en época lluviosa y un mes época seca. Además se recomienda que se realice en el lugar de estudio para evitar variaciones debido al cambio de temperatura. De esta manera se podrá obtener una mejor comparación entre los valores obtenidos.
- Analizar el sistema de distribución del agua, ya que, puede existir la alternativa de tener un sistema con un tanque elevado y que el agua lluvia llegue a las instalaciones por efecto de la gravedad, para evitar el uso de una bomba y de esta manera disminuir costos con respecto a la energía utilizada.
- El diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia depende de las precipitaciones y condiciones ambientales de la zona que requiere este sistema. Por lo cual es necesario realizar un estudio como el detallado en el presente documento si se busca implementar este tipo de sistemas en otro lugar de interés.
- Este tipo de sistemas se podría implementar para ahorrar el agua potable, debido a que el uso del inodoro representa un gasto alto y posiblemente innecesario debido a que se descarga unos 6,2 litros de agua en un mínimo de 4 veces al día por persona. Con la utilización del agua lluvia podría compensar uno de los problemas ambientales que es el manejo indebido del agua potable.
- Para asegurar un buen funcionamiento del sistema de captación y distribución diseñado se deberán realizar limpiezas periódicas para las rejillas, el filtro y los tanques para evitar que los sólidos que provocan obstrucciones reduzcan la eficiencia del sistema y la calidad del agua distribuida.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anaya, M., Pérez, A., López, N., & Martínez, I. (2018). *Sistemas de Captación del Agua de Lluvia (SCALL) MANUAL TÉCNICO*.
- Argueta, E. (2011). *IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS RESIDENCIALES, VENTAJAS Y DESVENTAJAS*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- BID. (2015). *¿Cuánta agua consumes realmente por día?*
<https://blogs.iadb.org/agua/es/cuanta-agua-consumes-realmente-por-dia/>
- Boyd, C. (2016, octubre 16). *Principios y medición de un importante parámetro de producción*. <https://www.globalseafood.org/advocate/conductividad-electrica-del-agua-parte-1/#:~:text=La%20conductividad%20usual%20de%20algunos,a%20%3E%2050.000%20mmhos%2Fcm.>
- Cabrera, E., Hernández, L., Gómez, H., & Cañizares, M. del P. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de La Sociedad Química de México*, 47(1).
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932003000100014
- Comisión Nacional del Agua. (2016). *LINEAMIENTOS TÉCNICOS: SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA CON FINES DE ABASTO DE AGUA POTABLE A NIVEL VIVIENDA*. 1–42.
- Comisión Nacional del Agua. (2022). *GUÍA TÉCNICA PARA EL DISEÑO: SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA A NIVEL VIVIENDA* (Issue 31).
- FAO. (2000). *MANUAL DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA EXPERIENCIAS EN AMÉRICA LATINA*.
- FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia*.
- Gobierno de la República del Salvador. (s/f). *Tratamiento y desinfección del agua a base de cloro*. Recuperado el 8 de agosto de 2022, a partir de <http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/agua/TRATAMIENTO%20Y%20DESINFECCION%20DEL%20AGUA%20A%20BASE%20DE.pdf>
- Gonzaga, F. (2015). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA PARA USO DOMESTICO EN LA ISLA DE JAMBELÍ, CANTÓN SANTA ROSA, PROVINCIA DE EL ORO*. Universidad Técnica de Machala.
- González, A., Martín, A., & Figueroa, R. (2015). *TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO*.
- Gualteros, L., & Chacón, M. (2015). *Estudio de la eficiencia de lechos filtrantes para la potabilización de agua proveniente de la quebrada la despensa en el municipio Guaduas Cundinamarca vereda La Yerbabuena* [Universidad de La Salle].
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/551

- Hernández, D., & Chaparro Tatiana. (2020). Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30, 97–107.
- Herrera, L. (2010). *ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA EL USO SUSTENTABLE DEL AGUA DE LLUVIA* [Instituto Politécnico Nacional].
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/7945/79.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hu, Z., & Grasso, D. (2005). WATER ANALYSIS | Chemical Oxygen Demand. En P. Worsfold, A. Townshend, & C. Poole (Eds.), *Encyclopedia of Analytical Science (Second Edition)* (pp. 325–330). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00663-4>
- INAMHI. (2015). *DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN*.
- INEN. (2015). *ARTEFACTOS SANITARIOS. CLASIFICACIÓN. INEN 1569* (pp. 1–17).
- INEN. (2020). *AGUA PARA CONSUMO HUMANO REQUISITOS*.
- Marco, L., Azario, R., Metzler, C., & Garcia, M. del C. (2004). *La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina)*.
[https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82(2004).pdf)
- Mesner, N., & Geiger, J. (2005). *Dissolved Oxygen*.
<https://extension.usu.edu/waterquality/files-ou/Publications/DO.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2011). *NORMA HIDROSANITARIA NHE AGUA*.
- Moncada, R. (2017). *Eficiencia del tratamiento filtro lento de arena en la remoción de carga orgánica en efluentes del mercado de Flores*. Universidad César Vallejo.
- OPS. (2010). *Sistema de captación y filtrado de aguas lluvias*.
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202010.%20Sistemas%20de%20captaci%C3%B3n%20y%20filtrado%20de%20aguas%20lluviaa.pdf
- Palacio, N. (2010). *PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE, EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARÍA AUXILIADORA DE CALDAS, ANTIOQUIA* [Universidad de Antioquía].
<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/1325/1/PropuestaSistemaAprovechamientoAguaLluvia.pdf>
- Portilla, F. (2018). *Agroclimatología del Ecuador* (1era ed.). Editorial Universitaria Abya-Yala.
- Proyecto del Fondo de Adaptación. (2013). *Guía de diseño de sistema de cosecha de agua lluvia para consumo humano*. <http://acchonduras.wordpress.com>
- Puratambi, L., & Amagua, C. (2021). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA PARA UN DOMICILIO UBICADO EN EL*

BARRIO SAN FRANCISCO DE HUARCAY, PARROQUIA LA ECUATORIANA, DMQ. Escuela Politécnica Nacional.

Quiroz, D. (2016). *CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE TANQUES ELEVADOS CONTROLADO POR UN PLC.* Escuela Politécnica Nacional.

Romero, J. (2009). *Calidad del agua* (2da edición). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Salazar, D. (2016). *Bases para el diseño y construcción de sistemas hidrosanitarios en edificaciones escolares* [Universidad Central del Ecuador].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6936/1/T-UCE-0011-229.pdf>

Secretaria del Ambiente DMQ. (2016). *Atlas Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito.*

Severiche, C. A., & González, H. (2012). EVALUACIÓN ANALÍTICA PARA LA DETERMINACIÓN DE SULFATOS EN AGUAS POR MÉTODO TURBIDIMÉTRICO MODIFICADO. En *Ing. USBMed* (Vol. 3, Issue 2).

TULSMA. (2015). *ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA.*

Varela, A., & Ron, S. (2020). *Geografía y clima del Ecuador.*
<https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/GeografiaClima/>

Water Action Volunteers. (2018). *Dissolved Oxygen.* 1–6.
<https://wateractionvolunteers.org/files/2019/10/Dissolved-Oxygen-Methods.pdf>

Water Science School. (2018a). *Temperature and Water Completed.*
<https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/temperature-and-water#overview>

Water Science School. (2018b). *Turbidity and Water.* <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/turbidity-and-water>

WHO. (2007). *pH in Drinking-water* . 1–2. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/ph.pdf?sfvrsn=16b10656_4

6 ANEXOS

ANEXO I. Turnitin CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Quito, D.M. 8 de septiembre de 2022

De mi consideración:

Yo, SANDRA PATRICIA PANCHI JIMA, en calidad de Directora del Trabajo de Integración Curricular titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO PRIMARIO DE AGUA POTABLE MEDIANTE EL USO DEL AGUA LLUVIA** asociado al proyecto DISEÑO DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PRIMARIO DE AGUA POTABLE Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA VIVIENDA DEL SECTOR SAN BARTOLO, elaborado por la estudiante **MELANIE ELIZABETH NACIMBA CHULCA** de la carrera en AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL, certifico que he empleado la herramienta Turnitin para la revisión de originalidad del documento escrito de las /secciones: Resumen, Introducción, Metodología, Resultados, Conclusiones y Recomendaciones, producto del Trabajo de Integración Curricular indicado.

El documento escrito tiene un índice de similitud del 8 %.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso del presente documento para los trámites de titulación.

NOTA: Se adjunta el informe generado por la herramienta Turnitin.

Atentamente,



Ing. Patricia Panchi Jima. Mgtr.
Profesora a tiempo completo
Carrera en Agua y Saneamiento Ambiental - ESFOT

TIC_MelanieNacimba_FINAL

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%	7%	1%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	docplayer.es Fuente de Internet	1%
4	dspace.uazuay.edu.ec Fuente de Internet	<1%
5	dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	"Structural Analysis of Historical Constructions", Springer Science and Business Media LLC, 2019 Publicación	<1%
7	www.ops.org.ni Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%

ANEXO II. Normativa

Anexo 2.1 Parámetros físicos y químicos normativa INEN 1108

TABLA 1. Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano

Parámetro	Unidad	Límite permitido ^b	Método de ensayo ^c
Arsénico	mg/L	0,01	Standard Methods 3114
Cadmio	mg/L	0,003	Standard Methods 3113
Cloro libre residual	mg/L	0,3 a 1,5	Standard Methods 4500 Cl ⁻
Cobre	mg/L	2,0	Standard Methods 3111
Color aparente	Pt-Co	15	Standard Methods 2120
Cromo (cromo total)	mg/L	0,05	Standard Methods 3113
Fluoruro	mg/L	1,5	Standard Methods 4500-F ⁻
Mercurio	mg/L	0,006	Standard Methods 3112
Nitratos (como NO ₃ ⁻)	mg/L	50,0	Standard Methods 4500-NO ₃ ⁻
Nitritos (como NO ₂ ⁻)	mg/L	3,0	Standard Methods 4500-NO ₂ ⁻
Plomo	mg/L	0,01	Standard Methods 3113
Turbiedad ^a	NTU	5	Standard Methods 2130

^a Se conoce también como *Turbidez*.

^b Los resultados obtenidos deben expresarse con el mismo número de cifras significativas de los límites permitidos, aplicando las reglas para redondear números indicadas en NTE INEN 52.

^c En el caso de que sean usados métodos de ensayo alternativos a los señalados, estos deben ser normalizados. En el caso de no ser un método normalizado, este debe ser validado.

TABLA B.1. Rango de pH del agua para consumo humano

Parámetro	Unidad	Rango
pH ^a	Unidades de pH	6,5 – 8,0

^a Parámetro de control operativo

Anexo 2.2 Parámetros físicos y químicos normativa TULSMA 2015

TABLA 1: CRITERIOS DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO			
PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Arsénico	As	mg/l	0,1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Bario	Ba	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro	CN ⁻	mg/l	0,1
Cobre	Cu	mg/l	2
Color	Color real	Unidades de Platino-Cobalto	75
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Fluoruro	F ⁻	mg/l	1,5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	<4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	<2
Hierro total	Fe	mg/l	1,0
Mercurio	Hg	mg/l	0,006
Nitratos	NO ₃	mg/l	50,0
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2
Potencial Hidrógeno	pH	unidades de pH	6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,01
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	500
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,2
Turbiedad	unidades nefelométricas de turbiedad	UNT	100,0

Anexo 2.3 Caudal instantáneo, presiones y diámetros según aparato sanitario

Aparato sanitario	Caudal instantáneo mínimo (L/s)	Presión		Diámetro según NTE INEN 1369 (mm)
		recomendada (m c.a.)	mínima (m c.a.)	
Bañera / tina	0.30	7.0	3.0	20
Bidet	0.10	7.0	3.0	16
Calentadores / calderas	0.30	15.0	10.0	20
Ducha	0.20	10.0	3.0	16
Fregadero cocina	0.20	5.0	2.0	16
Fuentes para beber	0.10	3.0	2.0	16
Grifo para manguera	0.20	7.0	3.0	16
Inodoro con depósito	0.10	7.0	3.0	16
Inodoro con fluxor	1.25	15.0	10.0	25
Lavabo	0.10	5.0	2.0	16
Máquina de lavar ropa	0.20	7.0	3.0	16
Máquina lava vajilla	0.20	7.0	3.0	16
Urinario con fluxor	0.50	15.0	10.0	20
Urinario con llave	0.15	7.0	3.0	16
Sauna, turco, ó hidromasaje domésticos	1.00	15.0	10.0	25

(Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011)

Anexo 2.4 Dotación diaria de agua por habitante

Tipo de edificación	Unidad	Dotación
Bloques de viviendas	L/habitante/día	200 a 350
Bares, cafeterías y restaurantes	L/m ² área útil /día	40 a 60
Camales y planta de faenamiento	L/cabeza	150 a 300
Cementerios y mausoleos	L/visitante/día	3 a 5
Centro comercial	L/m ² área útil /día	15 a 25
Cines, templos y auditorios	L/concurrente/día	5 a 10
Consultorios médicos y clínicas con hospitalización	L/ocupante/día	500 a 1000
Cuarteles	L/persona/día	150 a 350
Escuelas y colegios	L/estudiante/día	20 a 50
Hospitales	L/cama/día	800 a 1300
Hoteles hasta 3 estrellas	L/ocupante/día	150 a 400
Hoteles de 4 estrellas en	L/ocupante/día	350 a 800

(Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011)

ANEXO III. Información adicional

Anexo 3.1 Precipitaciones mensuales [mm] en un período de 2000-2021.

AÑOS	ENE [mm]	FEB [mm]	MAR [mm]	ABR [mm]	MAY [mm]	JUN [mm]	JUL [mm]	AGO [mm]	SEP [mm]	OCT [mm]	NOV [mm]	DIC [mm]	SUMA	MEDIA
2000	161.2	184.6	268.8	231.4	250.5	137.7	42.6	28.8	167.7	49.9	57.9	73.7	1654.8	137.9
2001	144.8	168.2	226.3	133.6	102	38.2	36.1	12.4	91.4	7.9	119	192.6	1272.5	106.0
2002	94	93.4	201.4	248	132.7	69.7	26.5	11.8	22.9	129.6	185	243.6	1458.6	121.6
2003	144.7	104.4	111.5	183.7	118	117.8	7.9	32.2	101.3	153.2	200.1	110.5	1385.3	115.4
2004	58.9	66.1	74.8	150.4	147.4	24.3	28.6	3.1	98.7	136.3	152.7	187.7	1129	94.1
2005	33.3	201.4	210.2	115.7	100.1	66.8	50.6	53.9	84.1	83.7	105.8	159.4	1265	105.4
2006	93.3	188.8	167.5	262	76.3	92.2	13.1	23.6	51.6	76.5	245.9	174.6	1465.4	122.1
2007	171.3	55.1	229.9	264.3	243.6	59.7	62.6	34.8	16.4	201.9	326.2	117.8	1783.6	148.6
2008	246.6	275.5	263.5	257	216.4	111.5	28.5	96.7	103.1	199.5	108	126	2032.3	169.4
2009	295.4	186.6	262.4	189.9	102.8	48.2	7.1	29	9.7	86.4	88.8	209.9	1516.2	126.4
2010	45.6	103.7	114.2	289.2	149.2	100.4	196.2	52.5	79.5	89.7	249.4	304.8	1774.4	147.9
2011	138.3	193.3	143.7	262.4	92.8	61.4	69.4	76.7	56.9	197.6	30.4	164.9	1487.8	124.0
2012	254.3	227.3	197.4	219.3	64.9	10.6	19.8	20	20.5	167	169	30.5	1400.6	116.7
2013	43.7	230.5	128.1	101.9	239	9.8	8.3	43.5	38.9	191.5	45.9	79.6	1160.7	96.7
2014	177.9	135.4	242.3	141.6	186.9	43.3	12.5	49.9	78.5	132.1	112.8	79.8	1393	116.1
2015	94.9	78.9	233.3	152.2	102.4	10.6	30	6.6	21.4	118.2	193.4	49.7	1091.6	91.0
2016	166.6	103.7	185.2	318.7	131.4	44.3	18.4	10.6	82	110.9	28.9	193.3	1394	116.2
2017	171.3	170.6	331.1	163.5	227.7	149.7	5.1	42.1	53.8	113	124.4	170.4	1722.7	143.6
2018	84.9	181.3	217.4	176.1	191.5	30.2	12	23.9	45.4	89.1	253.1	44.7	1349.6	112.5
2019	105.5	212	235.1	155.4	103.6	62.5	24.9	0	84	168	194.8	132.3	1478.1	123.2
2020	170.6	141.3	145.6	168	118.3	34.2	68.1	60.4	25.4	69.3	15	63.9	1080.1	90.0
Suma	2897.1	3302.1	4189.7	4184.3	3097.5	1323.1	768.3	712.5	1333.2	2571.3	3006.5	2909.7	30295.3	2524.6
Media	138.0	157.2	199.5	199.3	147.5	63.0	36.6	33.9	63.5	122.4	143.2	138.6	1442.6	120.2
Mínima	33.3	55.1	74.8	101.9	64.9	9.8	5.1	0.0	9.7	7.9	15.0	30.5	1080.1	90.0
Máxima	295.4	275.5	331.1	318.7	250.5	149.7	196.2	96.7	167.7	201.9	326.2	304.8	2032.3	169.4

Anexo 3.2 Coeficiente de escorrentía según el material

Material o tipo de construcción	KC
Cubiertas metálicas o plásticas	0.95
Techos impermeabilizados o cubiertos con materiales duros (p. ej. Tejas)	0.9
Concreto hidráulico	0.9
Calles asfaltadas	0.85
Lámina corrugada	0.8
Adoquinado o empedrado con cemento	0.75
Terrazas	0.6
Adoquín sin juntear	0.6
Terracerías	0.4

(Comisión Nacional del Agua, 2022)

Anexo 3.3 Tabla de intensidades según la estación y la duración de lluvia de la estación M0003 Izobamba

MINUTOS	Duración(minutos)							
	5	10	15	20	30	60	120	360
Tr								
2	86.74	64.21	53.85	47.53	39.86	25.62	14.13	5.51
5	109.08	80.74	67.71	59.76	50.12	32.21	17.77	6.92
10	124.14	91.89	77.06	68.02	57.04	36.66	20.23	7.88
25	142.84	105.73	88.67	78.26	65.63	42.18	23.27	9.07
50	156.86	116.11	97.38	85.95	72.08	46.32	25.56	9.96
100	170.89	126.49	106.08	93.63	78.52	50.46	27.84	10.85

(INAMHI, 2015)

Anexo 3.4. Coeficiente de Manning según el material

Coefficientes de Prandtl-Colebrook-White, Hazen-Williams, y Manning - Valores de (n) en función del material

Material	Prandtl-Colebrook		Hazen-Williams		Manning	
	k (mm)		c		n	
	Nueva	En servicio	Nueva	En servicio	Nueva	En servicio
Fundición	0,03	0,2	130	100	0,012	0,017
Hormigón	0,3	3,0	140	110	0,013	0,017
Acero	0,03	0,1	120	90	0,008	0,011
Polietileno	0,005	0,03	150	140	0,007	0,009
PRFV	0,03	0,06	110	100	0,009	0,010
PVC	0,002	0,003	150	140	0,007	0,009
PVC-O	0,003	0,007	150	140	0,007	0,009

Fuente: Molecor (página web)

Anexo 3.5 Precipitaciones máximas mensuales [mm] en un período 2000-2021

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	SUMA	MAX
2000	18.7	27	35.5	29.1	38.2	34.6	11.4	10.5	37.3	7.7	12	12.2	274.2	38.2
2001	29.3	34.1	26.4	29.2	22.7	20.2	10	12.4	15.2	3	25.8	26	254.3	34.1
2002	30.1	18.8	40	47.8	34.5	24.3	14.3	5.8	4.7	17.6	37.4	32.6	307.9	47.8
2003	50.3	33.2	20.8	28	34	17.6	4.7	10.4	19.3	27.3	28.2	30	303.8	50.3
2004	19	11	20.4	24.7	37.9	13.9	11.2	1.4	18.8	26.8	20.9	71.4	277.4	71.4
2005	12.2	37.9	27.2	24.3	23.1	18.4	12.8	18.9	33	28.4	29.3	26.6	292.1	37.9
2006	14	30.8	27.4	31.2	14.8	28.1	5.8	14.1	10.7	21.3	31.9	31.2	261.3	31.9
2007	41.6	20	34.8	28.9	38.4	14.8	21.9	10.9	8.3	42.7	29.3	25.8	317.4	42.7
2008	23.2	30	37.4	38.3	20.3	20	10.3	28.2	32	42.6	13.8	21.6	317.7	42.6
2009	30.5	29.2	84.5	40.4	23	11.2	3.4	7.5	6.7	17.7	15.9	20.4	290.4	84.5
2010	29.3	23.3	44.6	32.6	45	30.2	44	28.8	15.7	19.3	35.6	36.1	384.5	45
2011	21.2	42.4	22.9	26.2	25.2	23.9	15	35.5	15.9	35.1	6.4	26.8	296.5	42.4
2012	28.7	45.2	28.4	23.7	13.3	3.2	14.7	13	15.1	28.5	28	7.3	249.1	45.2
2013	14.9	33.4	20.6	15.3	36.6	7.2	4	11.3	10.8	40	10.4	21.6	226.1	40
2014	33.3	24.4	25.2	32.4	29.6	22.3	11.2	24.6	20.4	23.2	27.8	23.3	297.7	33.3
2015	13.8	16.4	22	30.9	18.9	4.2	11.3	3.6	13.7	15.8	27.4	10.8	188.8	30.9
2016	25	34.9	37.9	40.5	26.4	10.2	5.8	8.2	19.4	5.7	2.2	31.1	247.3	40.5
2017	17.1	27.1	22.3	20.7	24.3	17.2	5.2	12.6	23.4	19.9	21.1	16.2	227.1	27.1
2018	9.4	10.6	0.1	23.1	26.7	5	8.5	16.3	18.6	49.3	28.1	22.7	218.4	49.3
2019	21.4	30.4	63.8	22.1	17.5	36.6	8.6	0.1	21.7	18.4	23	20.1	283.7	63.8
2020	35	34	27.7	31.5	70.8	15.9	24	15.5	5.8	20.4	6.1	15.9	302.6	70.8
2021	15												15	15

Anexo 3.6 Ciclo por hora relacionado con la potencia de la bomba

Potencia (HP)	Máximo número de Ciclos / hora	Tiempo mínimo (minutos)
Hasta 10.0	20	3
De 10.0 a 20.0	15	4
De 20.0 a 30.0	12	5
De 30.0 a 50.0	10	6
Desde 50.0	6	10

(Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011)

Anexo 3.7. Características sistema hidroneumático de bombeo

CÓDIGO: 616298

CARACTERÍSTICAS:

- Bomba periférica de 1/2 HP
- Tanque horizontal presurizado de 24 L
- Precarga del tanque: 18 psi
- Presostato: 20-40 psi

VENTAJAS:

- Totalmente ensamblado
- Válvula de 5 vías
- Incluye manómetro para lectura de presión
- Presostato calibrado
- Manguera flexible

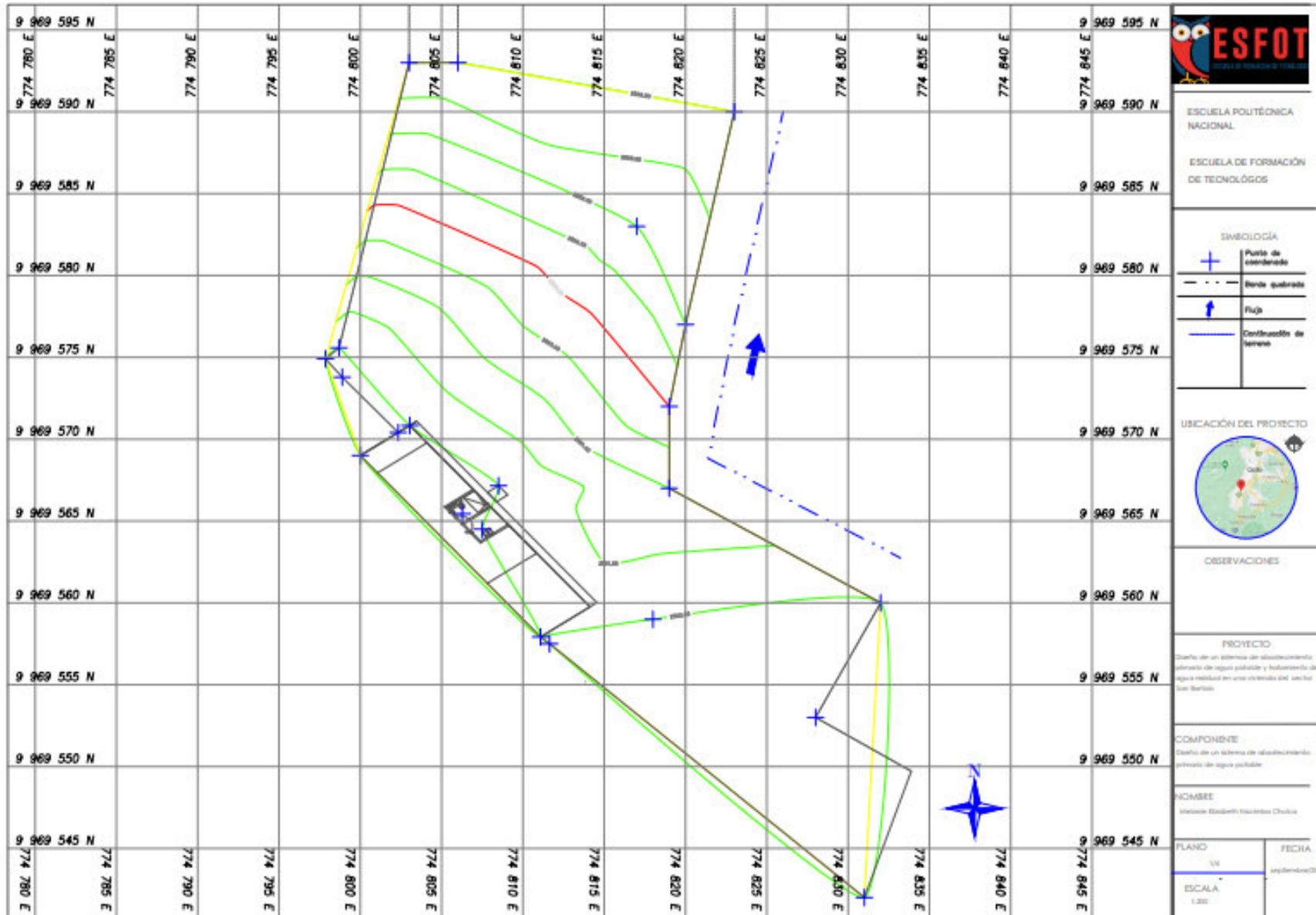
USO: 3 a 4 servicios



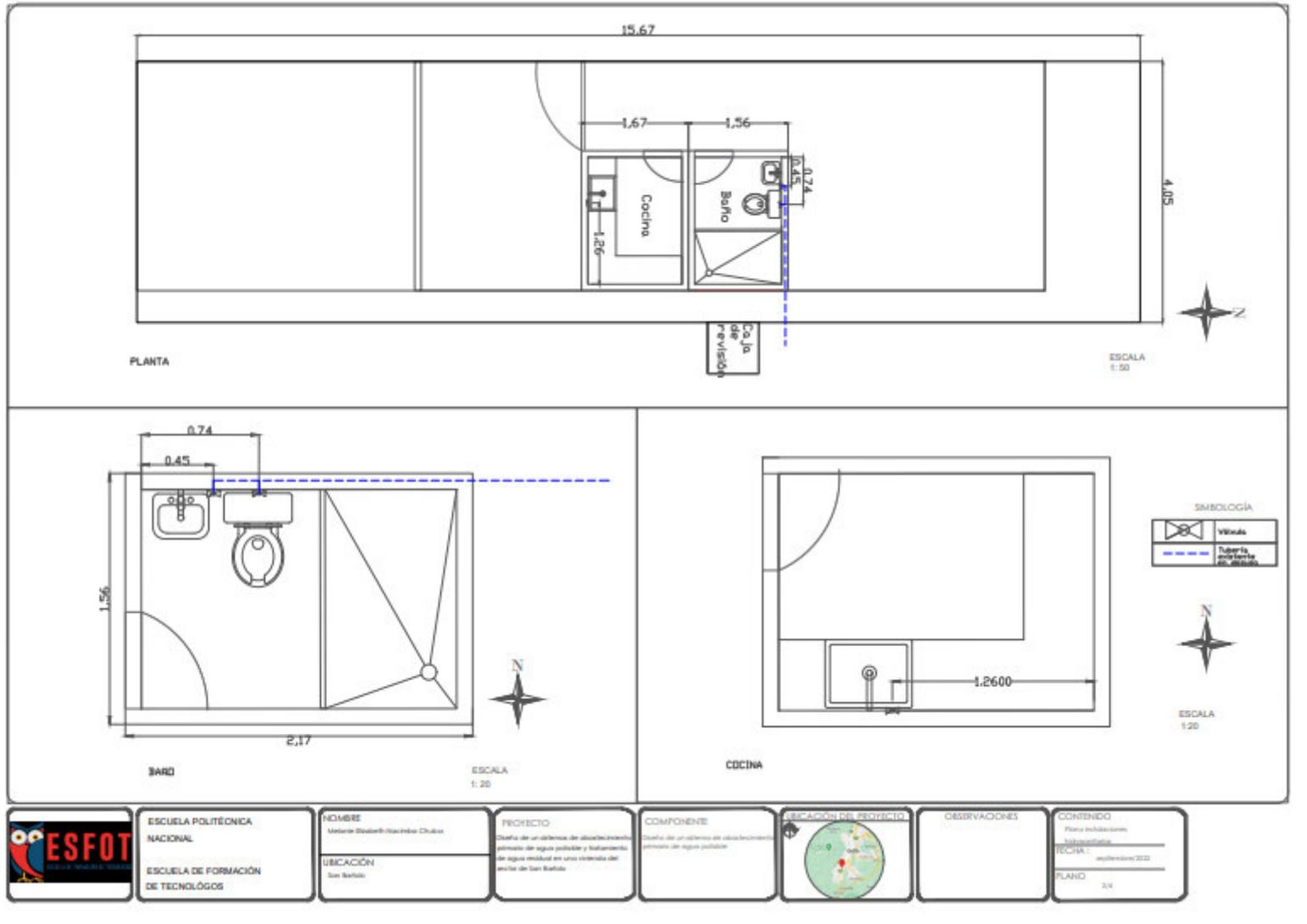
Fuente: [Diapositiva 1 \(tiendaiusa.com\)](http://tiendaiusa.com)

ANEXO IV. Planos

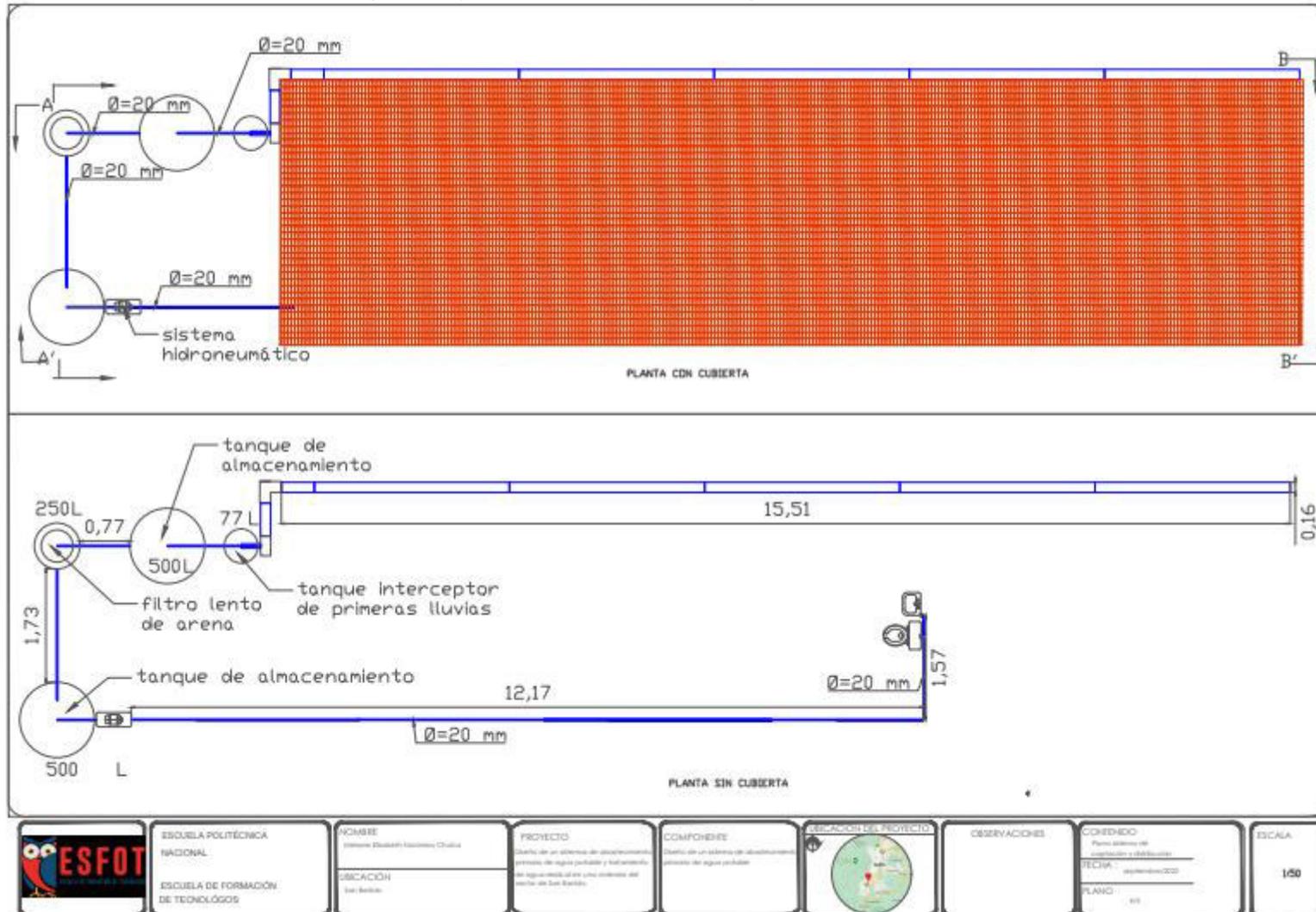
Anexo 4.1. Plano general



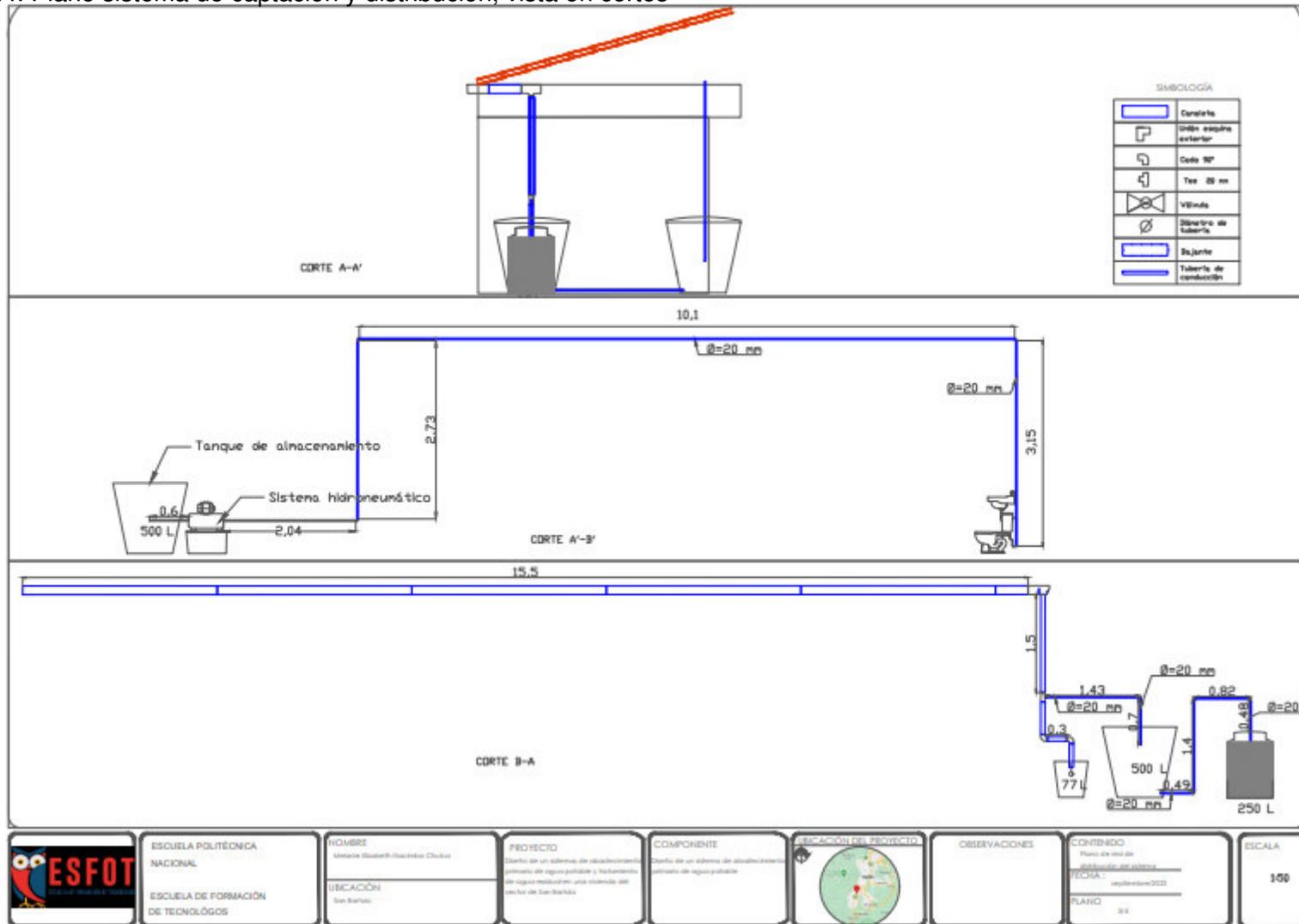
Anexo 4.2. Plano instalaciones hidrosanitarias



Anexo 4.3. Plano del sistema de captación y de distribución, vista en planta



Anexo 4.4. Plano sistema de captación y distribución, vista en cortes



ANEXO V. Catálogos

Anexo 5.1 Tanque de plástico 77 L.



Anexo 5.2 Tanques para agua

+TANQUES+
PARA RESERVA DE AGUA

En PLÁSTICOS RIVAL estamos siempre preocupados por la salud de las personas.

Nuestra línea de TANQUES PARA RESERVA de alta durabilidad, están desarrollados con los más altos estándares internacionales para el almacenamiento y preservación del agua, ya que cuentan con un recubrimiento interior antibacterial.

DETALLE RECUBRIMIENTO INTERIOR

TANQUE BOTELLA 250

CAPACIDAD: 250 lts
DIÁMETRO: 700 mm
ALTURA: 850 mm
DIÁMETRO TAPA: 490 mm

TANQUE BOTELLA 500

CAPACIDAD: 500 lts
DIÁMETRO: 880 mm
ALTURA: 1.100 mm
DIÁMETRO TAPA: 490 mm

Anexo 5.3 Canaletas y bajantes



PLASTIGAMA WAVIN

CANALES Y BAJANTES DE PVC

Sistema para recolección de aguas lluvias con resistencia UV

Canal 3 m CÓDIGO: 304337 PESO Pkg: 5,200		Bajante 3 m CÓDIGO: 324356 PESO Pkg: 1,280	
Soporte plástico de canal CÓDIGO: 304352 PESO Pkg: 0,295	Unión de canal a canal CÓDIGO: 304350 PESO Pkg: 0,245	Unión esquina interior CÓDIGO: 304357 PESO Pkg: 0,293	Unión esquina exterior CÓDIGO: 304345 PESO Pkg: 0,293
Tapa externa CÓDIGO: 304353 PESO Pkg: 0,144 E: 0,144	Tapa interna CÓDIGO: 304350 PESO Pkg: 0,100	Soporte Metálico de canal CÓDIGO: 304355 PESO Pkg: 0,235	Tornillo inoxidable CÓDIGO: 304358 PESO Pkg: 0,293
Unión de canal a bajante CÓDIGO: 304341 PESO Pkg: 0,295	Soporte de bajante CÓDIGO: 304352 PESO Pkg: 0,293	Unión de bajante CÓDIGO: 304353 PESO Pkg: 0,293	Codo de bajante 45° CÓDIGO: 304357 PESO Pkg: 0,127
Codo de bajante 90° CÓDIGO: 304358 PESO Pkg: 0,295	Adaptador de bajante a alcantarillado CÓDIGO: 304359 PESO Pkg: 0,295	Lubricante de silicona CÓDIGO: 304359 VOLUMEN: 250 ml	Kit Hidrosello canal decorativo x 2 CÓDIGO: 304358

Fuente: Plastigama

Anexo 5.4 Ficha técnica de la bomba

APm
Peripheral Pump



Application

- Can be used to transfer clean water or other liquids similar to water to peripheral and central systems.
- Suitable for small living water supply, automatic water sprayer system, smart air conditioner system or supporting equipment etc.

Pump

- Special anti-rust treatment for cast iron pump body and support.
- Stainless impeller
- ISO 284 shaft
- Max. liquid temperature +40°C
- Max. suction: 16 m

Motor

- Class bearing
- Motor with copper winding
- Balun frame protector for single phase motor
- Insulation class: F104
- Protection class: IP54
- Max. ambient temperature: +40°C
- IE 2 motor (AP115, AP130)

Identification Codes

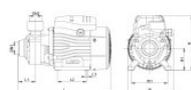
A P m 37

- A - Power (1-10 KW)
- P - Single Phase Motor
- m - (Optional for three-phase motor)
- 37 - Peripheral Pump
- LED Product Style

Technical Data

MODEL	Flow (l/min)	Power (W)	Flow (m³/h)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
AP120	0.3	6.4	38	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10
AP127	0.57	6.5	41	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12
AP140	0.8	6.4	45	33	30	28	26	24	22	20	18	16	14
AP170	0.76	1.0	75	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40
AP180	0.76	1.0	88	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50
AP170	1.1	1.3	88	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50
AP180	1.3	2.0	88	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50
AP120	2.2	2.0	148	105	100	95	90	85	80	75	70	65	60

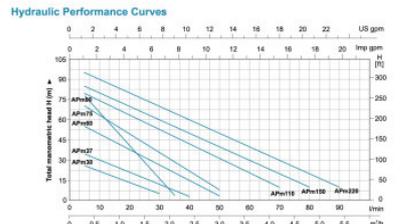
Dimension



Model	Flow (l/min)	Power (W)	Flow (m³/h)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
AP120	0.3	6.4	38	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10
AP127	0.57	6.5	41	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12
AP140	0.8	6.4	45	33	30	28	26	24	22	20	18	16	14
AP170	0.76	1.0	75	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40
AP180	0.76	1.0	88	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50
AP170	1.1	1.3	88	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50
AP180	1.3	2.0	88	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50
AP120	2.2	2.0	148	105	100	95	90	85	80	75	70	65	60

LEO B.O. INNOVATION

Hydraulic Performance Curves



Materials Table

Part	Material	Part	Material
1. Body	HT200	11. Impeller	HT200
2. Shaft	40Cr	12. Motor	HT200
3. Motor	HT200	13. Impeller	HT200
4. Impeller	HT200	14. Motor	HT200
5. Motor	HT200	15. Motor	HT200
6. Motor	HT200	16. Motor	HT200
7. Motor	HT200	17. Motor	HT200
8. Motor	HT200	18. Motor	HT200
9. Motor	HT200	19. Motor	HT200
10. Motor	HT200	20. Motor	HT200

Package Information

Model	Flow (l/min)	Power (W)	Flow (m³/h)	0.5	1.0	1.5	2.0
AP120	0.3	6.4	38	28	26	24	22
AP127	0.57	6.5	41	30	28	26	24
AP140	0.8	6.4	45	33	30	28	26
AP170	0.76	1.0	75	58	56	54	52
AP180	0.76	1.0	88	68	66	64	62
AP170	1.1	1.3	88	68	66	64	62
AP180	1.3	2.0	88	68	66	64	62
AP120	2.2	2.0	148	105	100	95	90



ANEXO VI. Tablas

Anexo 6.1 Volumen tanque interceptor de primeras aguas y tanque de almacenamiento

Volumen tanque interceptor primeras aguas			0,06346 m ³	
Mes	Oferta diaria [m ³]	Demanda diaria [m ³]	V disponible diario [m ³]	Diferencia (Vdisponible-demanda)
Marzo	0,39	0,16	0,32	0,16
Abril	0,40	0,16	0,34	0,17
Mayo	0,29	0,16	0,22	0,06
Junio	0,13	0,16	0,06	-0,10
Julio	0,07	0,16	0,008	-0,16
Agosto	0,07	0,16	0,003	-0,16
Septiembre	0,13	0,16	0,06	-0,10
Octubre	0,24	0,16	0,17	0,01
Noviembre	0,29	0,16	0,22	0,06
Diciembre	0,27	0,16	0,21	0,04
Enero	0,27	0,16	0,20	0,04
Febrero	0,34	0,16	0,28	0,11
Volumen tanque de almacenamiento			0,33 m ³	

Anexo 6.2 Valores iniciales y finales aparentes de SST, turbidez y DQO

	Sólidos Suspendidos Totales		Turbidez		DQO	
	Valor inicial	Valor final aparente	Valor inicial	Valor final aparente	Valor inicial	Valor final aparente
Filtro lento de arena	16 mg/L	1,6 mg/L	2,24 NTU	0,2688 NTU	45 mg/ L	4,95 mg/ L

ANEXO VII.

MEMORIA TÉCNICA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE
ABASTECIMIENTO PRIMARIO DE
AGUA POTABLE MEDIANTE EL USO
DEL AGUA LLUVIA**

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	68
ALCANCE.....	68
1. Objetivo general.....	69
2. Objetivos específicos	69
3. Ubicación del proyecto.....	69
4. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	70
4.1 Levantamiento de puntos georreferenciales del sitio del proyecto	70
Características de la vivienda	71
4.2 Levantamiento de información meteorológica	71
5. Análisis de calidad del agua	72
5.1 Toma de muestras de agua lluvia.....	72
5.2 Análisis en el laboratorio	72
6. Diseño del sistema de captación y distribución de agua lluvia	74
Oferta y demanda de agua lluvia	74
Caudal de canaleta.....	75
Caudal máximo de canaleta	76
6.2 Sistema de almacenamiento	76
Volumen tanque interceptor de primeras aguas	76
Volumen del tanque de almacenamiento	77
7. Sistema de filtrado	77
7.1 Filtro lento de arena y carbón activado	77
8. Sistema de recolección.....	78
8.1 Caudal de la canaleta.....	78
8.2 Caudal de la bajante	79
9. Sistema de bombeo	79
9.1 Altura dinámica total.....	79
9.2 Sistema hidroneumático	80
10. Desinfección	81
10.1 Dosificación de hipoclorito de sodio.....	81
11. Presupuesto	82
12. Conclusiones	83
13. Recomendaciones	85
14. Planos del proyecto	86
Bibliografía.....	88

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto presenta una propuesta de diseño de un sistema de abastecimiento y distribución de agua apta para consumo humano que se desarrolló haciendo uso del agua lluvia para cumplir con la demanda en cuanto a las necesidades hidrosanitarias de los habitantes de una vivienda ubicada en el sector de San Bartolo, sur de Quito. Para llevar a cabo la propuesta, se realizó un levantamiento de información tanto bibliográfica como planimétrica, además se identificó cada elemento en la vivienda que es necesario para un sistema de distribución de agua potable y la ejecución del diseño.

ALCANCE

La vivienda ubicada en el barrio San Bartolo en la ciudad de Quito no cuenta con un sistema de distribución de agua potable que cumpla con los requerimientos técnicos adecuados de un sistema eficiente. Por lo que el presente proyecto se enfocará en el análisis de las condiciones del sistema de distribución y abastecimiento de la vivienda mediante el respectivo levantamiento de información planimétrica y pluviométrica de la zona. También se procura un análisis de la calidad que tiene el agua lluvia del sector para garantizar su uso sin repercusiones. Las actividades planteadas permitirán diseñar un sistema de captación, recolección y distribución que permita entregar agua apta para consumo humano en condiciones adecuadas de cantidad, calidad y la disponibilidad mediante el aprovechamiento del agua lluvia. Una vez que se obtenga el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable que cumpla con las condiciones adecuadas plateadas se obtendrá el presupuesto que conllevaría llevar a cabo el proyecto. Además, se presentará como elementos finales; un entregable que consistiría en la memoria técnica de la propuesta.

1. Objetivo general

Diseñar un sistema de abastecimiento de agua potable a través del uso de agua lluvia en una vivienda de San Bartolo.

2. Objetivos específicos

1. Realizar levantamiento de información del sistema de captación actual de la vivienda.
2. Diseñar el sistema de captación, tratamiento y distribución del agua potable en la vivienda.
3. Elaborar los planos de diseño y presupuesto del sistema propuesto.

3. Ubicación del proyecto

El proyecto se ubica en el barrio de San Bartolo, sur de Quito.

4. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

4.1 Levantamiento de puntos georreferenciados del sitio del proyecto

Se realizó el reconocimiento del terreno, de la situación de abastecimiento de agua de la vivienda y la ubicación del cuarto de baño y cocina, así como sus instalaciones hidrosanitarias.

Una vez reconocidos los puntos de interés, se procedió a tomar cada punto con ayuda de un GPS marca GARMIN GPSMAP 64ST.



Figura 1. Toma de puntos georreferenciados caja de revisión

Se tomaron puntos que permitieron definir el perímetro de la vivienda dentro del terreno, el límite más cercano a la quebrada, los cuartos de cocina y baño.



Figura 2. Toma de puntos georreferenciados del baño

Características de la vivienda

- La losa tiene un área de 63,46 m².
- Cuenta con un inodoro, un lavamanos, un lavabo de cocina.

4.2 Levantamiento de información meteorológica

Se solicitó al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) información referente a las precipitaciones mensuales del período 2000-2020. En la tabla 1 se puede observar un resumen de la información meteorológica obtenida.

Tabla 1. Precipitaciones mensuales [mm] período 2000-2020

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	161.2	184.6	268.8	231.4	250.5	137.7	42.6	28.8	167.7	49.9	57.9	73.7
2001	144.8	168.2	226.3	133.6	102	38.2	36.1	12.4	91.4	7.9	119	192.6
2002	94	93.4	201.4	248	132.7	69.7	26.5	11.8	22.9	129.6	185	243.6
2003	144.7	104.4	111.5	183.7	118	117.8	7.9	32.2	101.3	153.2	200.1	110.5
2004	58.9	66.1	74.8	150.4	147.4	24.3	28.6	3.1	98.7	136.3	152.7	187.7
2005	33.3	201.4	210.2	115.7	100.1	66.8	50.6	53.9	84.1	83.7	105.8	159.4
2006	93.3	188.8	167.5	262	76.3	92.2	13.1	23.6	51.6	76.5	245.9	174.6
2007	171.3	55.1	229.9	264.3	243.6	59.7	62.6	34.8	16.4	201.9	326.2	117.8
2008	246.6	275.5	263.5	257	216.4	111.5	28.5	96.7	103.1	199.5	108	126
2009	295.4	186.6	262.4	189.9	102.8	48.2	7.1	29	9.7	86.4	88.8	209.9
2010	45.6	103.7	114.2	289.2	149.2	100.4	196.2	52.5	79.5	89.7	249.4	304.8
2011	138.3	193.3	143.7	262.4	92.8	61.4	69.4	76.7	56.9	197.6	30.4	164.9
2012	254.3	227.3	197.4	219.3	64.9	10.6	19.8	20	20.5	167	169	30.5
2013	43.7	230.5	128.1	101.9	239	9.8	8.3	43.5	38.9	191.5	45.9	79.6
2014	177.9	135.4	242.3	141.6	186.9	43.3	12.5	49.9	78.5	132.1	112.8	79.8
2015	94.9	78.9	233.3	152.2	102.4	10.6	30	6.6	21.4	118.2	193.4	49.7
2016	166.6	103.7	185.2	318.7	131.4	44.3	18.4	10.6	82	110.9	28.9	193.3
2017	171.3	170.6	331.1	163.5	227.7	149.7	5.1	42.1	53.8	113	124.4	170.4
2018	84.9	181.3	217.4	176.1	191.5	30.2	12	23.9	45.4	89.1	253.1	44.7
2019	105.5	212	235.1	155.4	103.6	62.5	24.9	0	84	168	194.8	132.3
2020	170.6	141.3	145.6	168	118.3	34.2	68.1	60.4	25.4	69.3	15	63.9

Fuente: INAMHI

5. Análisis de calidad del agua

Debido a que la vivienda de estudio se encuentra en una zona urbana y es cercana a industrias se debe comprobar la calidad del agua lluvia y descartar presencia de lluvia ácida.

5.1 Toma de muestras de agua lluvia

Se realizó la recolección de muestras de agua lluvia un día antes a su análisis en baldes de plástico previamente lavados.



Figura 3. Toma de muestra de agua lluvia en baldes

5.2 Análisis en el laboratorio

Las muestras se conservaron en envases de vidrio a 4 °C hasta el día de análisis.

Los valores de los parámetros se determinaron luego de un análisis realizado en el laboratorio de Agua y Saneamiento Ambiental de la ESFOT y el LDIA.



Figura 4. Análisis de la calidad del agua en el laboratorio de ASA

Una vez analizados los parámetros se obtuvieron los siguientes resultados que se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 2. Resultados de análisis de parámetros en el laboratorio

Parámetros	Valores obtenidos	Límites permisibles TULSMA 2015	Límites permisibles INEN 1108
Temperatura	1/6/2022 18,1 °C		
	3/6/2022 11,9 °C		
	5/6/2022 12,7 °C		
pH	6,37	6-9	6,5-8
Oxígeno disuelto	73,6 % OD		
Conductividad	0,076 mS/cm		
Turbidez	2,24 NTU	100 NTU	5 NTU
Sólidos Totales	44 mg/L		
Sólidos suspendidos totales	16 mg/L		
Sólidos disueltos totales	48 mg/L		
DQO	42 mg/L	<4 mg/L	
Nitratos	1,4 mg/L N-NO ₃ ⁻	50 mg/L	50 mg/l
Nitritos	0,009 mg/L N-NO ₂ ⁻	0,2 mg/L	3 mg/l
Sulfatos	6 mg/l	500 mg/L	

Se realizó una comparación con las normativas vigentes ecuatorianas, y se establece que no se cumple con el límite permisible de DQO. Por lo cual, se plantea un filtro lento de arena para su disminución.

Para obtener resultados más precisos del lugar de estudio, es recomendable realizar el análisis de: temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, pH y conductividad in situ.

6. Diseño del sistema de captación y distribución de agua lluvia

6.1 Sistema de captación

Permite que el agua lluvia sea recogida mediante una superficie de cualquier tipo de material que permita el escurrimiento del agua, para su almacenamiento y posterior uso doméstico. La cantidad de agua que se capta a través del sistema depende de la precipitación que se presenta en el sitio del proyecto, el área que tiene la superficie o techo de la vivienda y de las personas que se benefician del sistema.

Oferta y demanda de agua lluvia

Se utilizaron los datos de precipitación de la estación meteorológica Izobamba (M0003) para obtener información de la oferta de agua lluvia que existe en la zona del proyecto. La información se obtuvo de fuentes como el INAMHI y trabajos anteriores (Puratambi & Amagua, 2021).

Para el cálculo de la oferta y la demanda se utilizaron ecuaciones indicadas por (Fondo de Adaptación: Enfrentando Riesgos Climáticos en Recursos Hídricos en Honduras, 2013):

$$\text{Oferta} = P_m * C_e * A_c$$

Ecuación 1. Oferta de agua lluvia

Donde:

Oferta: Oferta de agua pluvial [L]

P_m: precipitación promedio mensual de los años evaluados [mm]

C_e: coeficiente de escorrentía [adimensional]

A_c: área útil de captación [m^2]

$$D_i = \frac{N_u * N_d * D_o t}{1000}$$

Ecuación 2. Demanda mensual

Donde:

D_i : Demanda por mes [m³]

N_u : Número de usuarios beneficiarios

N_d : Días del mes

Tabla 3. Oferta y demanda mensuales de agua lluvia

Coeficiente de escorrentía		0,95			
Área de captación		63,46 m ²			
Dotación por habitante		40,8 L/hab*día			
Mes	Precipitación promedio mensual [mm]	Oferta mensual [m3]	Oferta mensual acumulada [m3]	Demanda mensual para aparatos sanitarios[m3]	Demanda mensual acumulada [m3]
Marzo	199,51	12,03	12,03	5,06	5,06
Abril	199,25	12,01	24,04	4,90	9,96
Mayo	147,50	8,89	32,93	5,06	15,01
Junio	63,00	3,80	36,73	4,90	19,91
Julio	36,59	2,21	38,94	5,06	24,97
Agosto	33,93	2,05	40,98	5,06	30,03
Septiembre	63,49	3,83	44,81	4,90	34,93
Octubre	122,44	7,38	52,19	5,06	39,98
Noviembre	143,17	8,63	60,82	4,90	44,88
Diciembre	138,56	8,35	69,18	5,06	49,94
Enero	137,96	8,32	77,49	5,06	55,00
Febrero	157,24	9,48	86,97	4,57	59,57

Caudal de canaleta

La canaleta tiene la función de recolectar la lluvia, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$Qc = \frac{1}{n} * Atr * (Rh)^{\frac{2}{3}} * So^{0,5}$$

Ecuación 3. Cálculo del caudal de pasa por la canaleta

Donde:

Qc: caudal de la canaleta [m³/ s]

N: coeficiente de Manning

Atr: área de la sección transversal [m²]

Rh: radio hidráulico [m]

So: pendiente del canal

Los elementos que se necesitan se obtienen de otros cálculos, de esta manera se determina el radio hidráulico. El cual se utiliza para conocer el caudal que pasa por la canaleta. Se obtuvo un caudal de 9,25 l/s.

Caudal máximo de canaleta

Una vez obtenido el caudal de la canaleta, se realiza un cálculo para verificar que el caudal que transporta la canaleta no rebase su capacidad de recolección en un evento fortuito de precipitación máxima. Se determinó un caudal pluvial considerando la posibilidad de que ocurra este tipo de eventos. Se utilizó la ecuación del Método Racional detallada en INAMHI, 2015.

$$Q_{ll} = \frac{C * I * A}{3600}$$

Ecuación 4. Caudal máximo pluvial

Donde:

Q_{ll} : Caudal máximo pluvial [l/s]

I : Intensidad de agua lluvia [mm/hora]

C : Coeficiente de escurrimiento

A : Área de drenaje en proyección horizontal [m²]

Se obtuvo un valor de caudal de 1.97 L/s. Por lo tanto, la canaleta elegida es adecuada para el sistema.

6.2 Sistema de almacenamiento

Volumen tanque interceptor de primeras aguas

El tanque interceptor de primeras aguas tiene la función de recoger las primeras aguas lluvias, las cuales se generan tras la primera precipitación que se da en el día y que lavan la superficie o techo de la vivienda. De esta manera se evita que conduzcan directamente a la vivienda las impurezas que se ubican en la cubierta o que son arrastradas por la lluvia.

$$V_{pa} = \frac{Ac * h}{1000}$$

Ecuación 5. Volumen tanque interceptor de primeras aguas

Donde:

V_{pa}: volumen del interceptor de primeras aguas [m³]

Ac: área de captación del agua lluvia [m²]

h: altura del agua para el lavado [m]

Se obtuvo un volumen de 63,46 L. Se eligió un tanque con capacidad de 77 L que se encuentra disponible comercialmente.

Volumen del tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento se encuentra destinado para acumular el agua que se utiliza para satisfacer las necesidades de cada habitante del hogar.

La determinación del volumen necesario para el tanque de almacenamiento se obtuvo mediante una diferencia entre la demanda diaria de agua y el volumen diario disponible

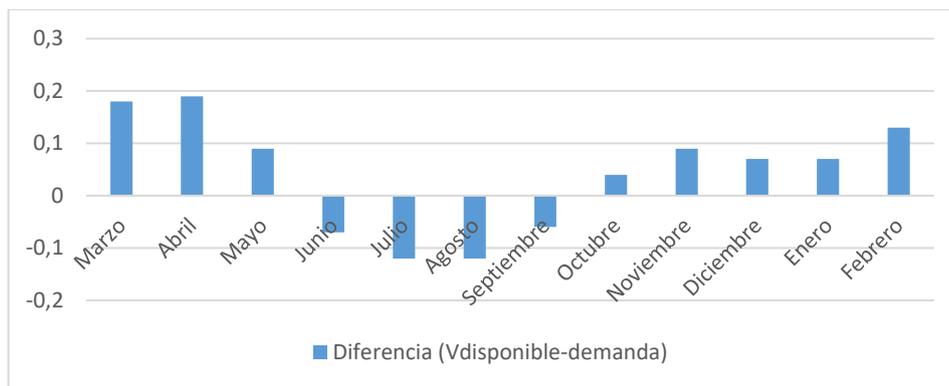


Figura 5. Diferencia entre volumen diario disponible y demanda diaria

Los datos de la figura 5 indican que se necesita una capacidad de 310 litros. Se escogió un tanque de 500 litros que se encuentra disponible en el comercio.

El tanque de almacenamiento permite acumular el agua de ciertas épocas donde existe un exceso de lluvia para lograr satisfacer las épocas de déficit de agua.

7. Sistema de filtrado

7.1 Filtro lento de arena y carbón activado

El filtro lento de arena tiene como finalidad el realizar un tratamiento mediante el paso del agua a distribuir por arena fina y carbón activado para disminuir parámetros como turbidez, DQO, sólidos suspendidos totales, entre otros, de esta manera se mejora la calidad física y química del agua lluvia captada.

Se propuso el diseño de un filtro lento de arena para lo cual se tomaron ciertas consideraciones descritas en (OPS, 2010), las cuales fueron: un tanque de 250 litros, 200 kilos de arena fina, tuberías PVC, además de cartuchos de carbón activado.

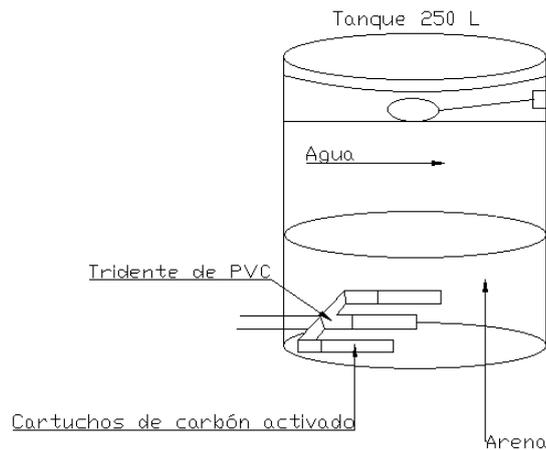


Figura 6. Diseño referencial del filtro lento de arena casero

Fuente: (OPS, 2010)

8. Sistema de recolección

Está compuesto por un conjunto de canaletas, tuberías y accesorios que se ubican en los bordes del techo y que permiten la recolección del agua lluvia que se escurre por la superficie de la vivienda.

8.1 Caudal de la canaleta

Para la determinación del caudal de canaleta se utilizó la ecuación de Manning (Anaya et al., 2018).

$$Qc = \frac{1}{n} * Atr * (Rh)^{\frac{2}{3}} * So^{0,5}$$

Ecuación 6. Caudal de la canaleta

Donde:

Qc: caudal de la canaleta [m^3/s]

N: coeficiente de Manning

Atr: área de la sección transversal [m^2]

Rh: radio hidráulico [m]

So: pendiente del canal

El caudal que pasará por la canaleta es de 0,277 l/s. Siendo un valor mayor que el Qmáx que puede ocurrir en un día de mayor precipitación, por lo que la canaleta es la adecuada.

La canaleta contará con una rejilla metálica a lo largo de su estructura para la remoción de sólidos que el agua lluvia arrastra del entorno.

8.2 Caudal de la bajante

Para la bajante ubicada de manera vertical según (Salazar, 2016), el caudal que pasa por la bajante es 1/3 de lo que representa el área total de la tubería, por lo tanto, se modificó la ecuación de Manning para representar el 1/3 del área de la bajante.

$$Q_b = \frac{1}{3} A_{bajante} * (Rh)^{\frac{2}{3}} * S_o^{0,5}$$

Ecuación 7. Caudal de la bajante

El caudal resultante que será conducido por la bajante es de 0,04 l/s.

9. Sistema de bombeo

Se encarga de distribuir el agua desde en el tanque de almacenamiento dirigiéndola a las instalaciones hidrosanitarias. La implementación de una bomba es necesaria cuando no existe la suficiente presión entre el tanque de almacenamiento y los aparatos hidrosanitarios.

9.1 Altura dinámica total

Se consideraron pérdidas de carga tanto por longitud como por accesorios. Y con la ecuación que determina (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011):

$$TDH = z + \frac{v^2}{2g} + \sum h + h_r$$

Ecuación 8. Ecuación de Bernoulli

Donde:

TDH: altura dinámica total [m]

z: altura geométrica entre nivel superior e inferior del líquido [m]

$\sum h$: pérdidas por fricción y accesorios [m]

v: velocidad del fluido [m/s]

g: constante gravitacional [m/ s²]

h_r: presión residual [m]

Se obtuvo una TDH= 17,12 m

9.2 Sistema hidroneumático

Consiste en una bomba y un tanque hidroneumático que se encargan de distribuir el agua adecuadamente. Una vez obtenida la altura dinámica total, la potencia de la bomba según lo indica (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011), se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q * TDH * \gamma}{75 * n}$$

Ecuación 9. Potencia de una bomba

Donde:

P: potencia de la bomba [HP]

Q: caudal máximo promedio [L/s]

TDH: altura dinámica total [m]

γ : peso específico del agua

n: eficiencia de la bomba, entre 60% a 70%, se consideró una eficiencia de 65%

Y para obtener el valor de la capacidad necesaria del tanque hidroneumático la ecuación determinada por (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011) es:

$$V = \frac{K * 0,312 * Qm}{Z * \frac{Pa + Pb}{Pa - Pe}}$$

Ecuación 10. Volumen del tanque hidroneumático

Donde:

V: volumen del tanque hidroneumático [m^3]

K: factor de corrección = 1

Qm: caudal medio de la bomba (promedio de caudales máximos y mínimos) [m^3 / h]

Z: ciclos de arranque [1 h]

Pa: presión máxima de la bomba [bar]

Pe: presión mínima de la bomba [bar]

Pb: presión barométrica [bar]

La potencia de la bomba y el volumen del tanque hidroneumático requeridos es de 0.18 HP y 6,45 L respectivamente, sin embargo, se considera un sistema hidroneumático de potencia 0,5 HP y 24 L de volumen debido a su disponibilidad comercialmente.

10. Desinfección

10.1 Dosificación de hipoclorito de sodio

Se consideró un hipoclorito de sodio líquido de concentración 10%.

Según la información indicada en (Gobierno de la República del Salvador, s/f), 5% equivalen a 50 000 mg/l, por lo tanto, 10% se tomó como 100 000 mg/l.

Mes	V disponible diario [L]	V disponible diario acumulado [L]	Vcloro [L]
Marzo	324.53	324.53	0.003
Abril	336.95	661.49	0.007
Mayo	223.39	884.87	0.009
Junio	63.15	948.03	0.009
Julio	7.690	955.72	0.010
Agosto	2.522	958.24	0.010
Septiembre	64.12	1022.36	0.010
Octubre	174.66	1197.02	0.012
Noviembre	224.24	1421.26	0.014
Diciembre	206.00	1627.26	0.016
Enero	204.83	1832.09	0.018
Febrero	275.10	2107.19	0.021

CANTIDAD DE CLORO LIQUIDO A AGREGAR EN TIEMPO NORMAL D agua = 1 mg/l
4 Gotas
20 Gotas = 1 mililitro
40 Gotas = 2 mililitros = 1/4 de tapa plástica de gaseosa
50 Gotas = 2.5 mililitros
16 Gotas
20 ml = 2 tapas de ron
40 ml = 4 tapas de ron
200 mililitros = 20 tapas de ron

Según el Gobierno de la República del Salvador, un volumen de 0.004 L de cloro equivale a 80 gotas o la mitad de una tapa plástica de gaseosa. Por lo cual, se debe considerar que para cada cantidad de cloro que se debe añadir se debe relacionar con la equivalencia de cloro para tener una dosificación adecuada.

11. Presupuesto

Para el presupuesto se presentan los costos de material y mano de obra supuestos para una implementación futura del sistema de captación y distribución de agua diseñado.

Los valores referenciales se establecieron mediante una consulta a ferreterías de Quito y también a vendedores de “Mercado Libre Ecuador”.

Tabla 11. Presupuesto de implementación futura

PRESUPUESTO	
Componente	Valor Total [\$]
Sistema de captación	319.55
Interceptor de primeras aguas	31.08
Sistema de almacenamiento y desinfección	230.12
Filtro lento de arena	124.09
Sistema de bombeo	212.07
Mano de obra	80
TOTAL	996.91

La implementación futura del sistema de captación y distribución de agua lluvia tiene un valor de 996.91 dólares.

Para obtener una comparación con otra alternativa que los habitantes de la vivienda tendrían que utilizar para satisfacer las actividades de las instalaciones hidrosanitarias, se estableció un valor referencial de uso mensual de bidones de agua.

Tabla 12. Presupuesto de compra de bidones

# BIDONES/DÍA	# BIDONES/MES	VALOR UNITARIO [\$]	VALOR TOTAL [\$]
8	240-248	3	720-744

Cada bidón tiene una capacidad de 20 litros, por lo que se necesitan 8 bidones para satisfacer diariamente las instalaciones hidrosanitarias estudiadas, lo que representa un valor entre 720 a 744 dólares mensuales que se deben invertir en la vivienda.

12. Conclusiones

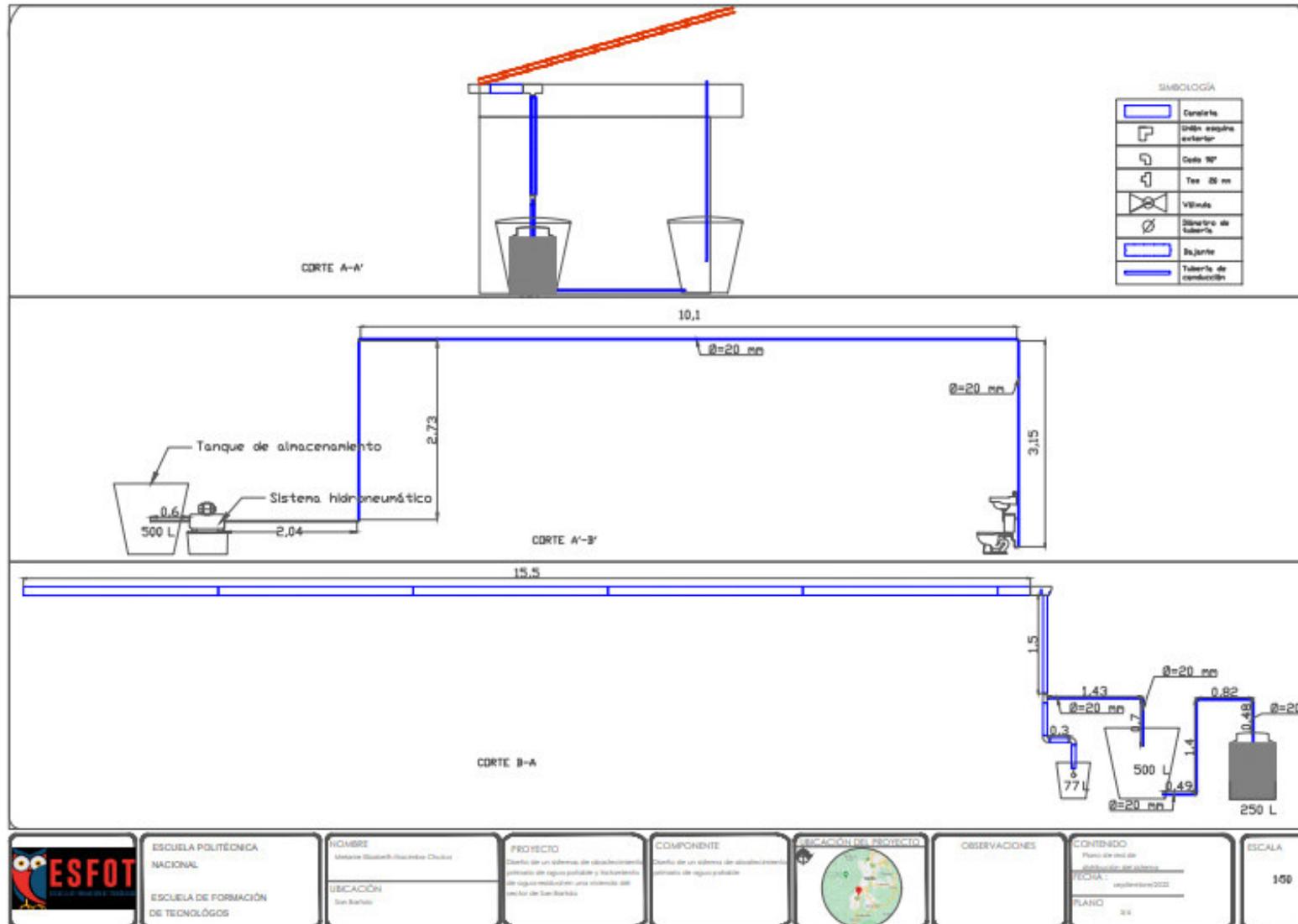
- Con el levantamiento de información planimétrica se obtuvieron los puntos georreferenciados de zonas de la vivienda y el lugar de estudio, con lo cual se logró la creación de un plano general indicando todos los datos obtenidos mediante el uso del GPS y con ayuda del software AUTOCAD. El plano indica las instalaciones existentes en la vivienda y el espacio disponible que existe en el terreno para una posible implementación del sistema de captación y distribución de agua lluvia.
- El sistema de captación de agua lluvia existente en la vivienda no es suficiente para brindar un agua apta para su utilización ni cuenta con la suficiente cantidad para satisfacer las necesidades fisiológicas de los habitantes de la vivienda.
- Las capacidades de los tanques han sido seleccionadas según su disponibilidad en el mercado y su proximidad con la capacidad obtenida teóricamente. Se obtuvo un volumen de 0,31 m³ necesario para el almacenamiento del agua lluvia captada, por lo que se escogió una capacidad del tanque de almacenamiento de 500 L considerando posibles eventos extraordinarios de lluvia.
- El único parámetro analizado que no cumple con el límite máximo permisible para un agua apta para consumo humano es la DQO, por lo cual el filtro lento de arena y carbón activado está destinado para la reducción de su valor. Siendo que tiene una eficiencia de remoción de DQO aproximada de 92%, y el valor final aparente que tendría la DQO del agua lluvia analizada es de 3.6 mg/L. Con este tratamiento ya se encuentra dentro del límite necesario.
- El uso de cloro como químico para la desinfección es debido a su facilidad de adquisición por ser lo más común y por su bajo costo.
- Para garantizar la correcta distribución del agua almacenada a las instalaciones hidrosanitarias se necesitó diseñar un sistema de bombeo, debido al incumplimiento de las presiones mínimas de 3 m.c.a y 2 m.c.a requeridas para el inodoro y el lavamanos respectivamente.
- El agua lluvia destinada a ser captada y distribuida cuenta con una calidad apta para el consumo humano, debido a que se encuentra por debajo de los límites permisibles que establecen las normativas ecuatorianas vigentes para garantizar un agua que puede ser consumida y no conlleve algún problema o enfermedad.
- El diseño del sistema de captación y distribución de agua potable se consiguió tras realizar distintos cálculos para determinar: la oferta y demanda requerida para la vivienda, las capacidades requeridas para los distintos tanques a utilizar en el sistema, caudales requeridos y dimensiones tanto de tuberías como las canaletas.

- El sistema se encuentra diseñado para almacenar agua que abastecería en las épocas que presentan un déficit de precipitación necesaria y que no abastecería con la cantidad suficiente para satisfacer las necesidades de cada habitante de la vivienda.
- El costo de una implementación futura del proyecto es de \$996.91. De esta manera se genera un gasto menor que la compra de bidones de agua. Además de tener un aprovechamiento del recurso natural hídrico que normalmente se desperdicia.

13. Recomendaciones

- En caso de implementación del proyecto, es recomendable, el abastecimiento adicional de agua potable proveniente de bidones o una cisterna, la cual va dirigida al uso en la cocina. Debido a que el sistema de captación de agua lluvia no es suficiente para abastecer otra instalación además del inodoro y el lavamanos.
- Para obtener una información más certera de la calidad del agua brindada se recomienda realizar el análisis de los parámetros por un período más extenso, de al menos un mes en época lluviosa y un mes época seca, y en el lugar de estudio para evitar variaciones debido a la temperatura.
- Analizar el sistema de distribución del agua, ya que, puede existir la alternativa de tener un sistema con un tanque elevado y que el agua lluvia llegue a las instalaciones por efecto de la gravedad, para evitar el uso de una bomba y de esta manera disminuir costos con respecto a la energía utilizada.
- El diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia depende de las precipitaciones y condiciones ambientales de la zona que requiere este sistema. Por lo cual es necesario realizar un estudio como el detallado en el presente documento si se busca implementar este tipo de sistemas en otro lugar de interés.
- Este tipo de sistemas se podría implementar para ahorrar el agua potable, debido a que el uso del inodoro representa un gasto alto y posiblemente innecesario debido a que se descarga unos 6,2 litros de agua en un mínimo de 4 veces al día por persona. Con la utilización del agua lluvia podría compensar uno de los problemas ambientales que es el manejo indebido del agua potable.
- Para asegurar un buen funcionamiento del sistema de captación y distribución diseñado se deberán realizar limpiezas periódicas para las rejillas, el filtro y los tanques para evitar que los sólidos que provocan obstrucciones menoren la calidad del sistema y del agua distribuida.

14. Planos del proyecto



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

NOMBRE
Melina Elizabeth Escobar Chaves

UBICACIÓN
San Andrés

PROYECTO
Diseño de un sistema de almacenamiento centralizado de agua potable y tratamiento de aguas residuales en una vivienda del sector de San Andrés

COMPONENTE
Diseño de un sistema de almacenamiento centralizado de agua potable



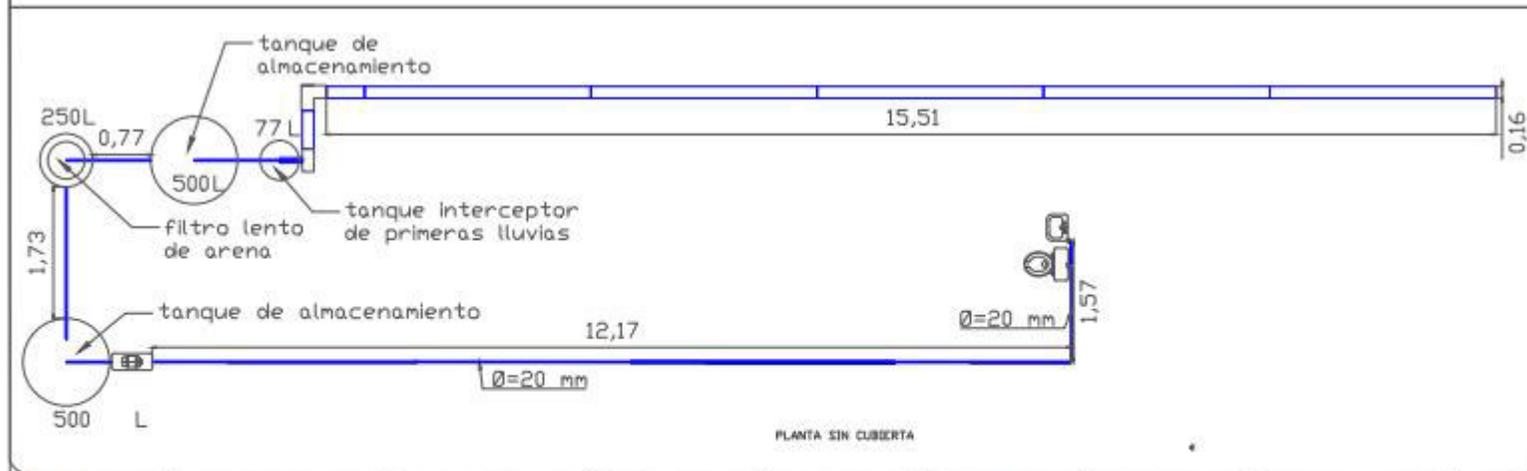
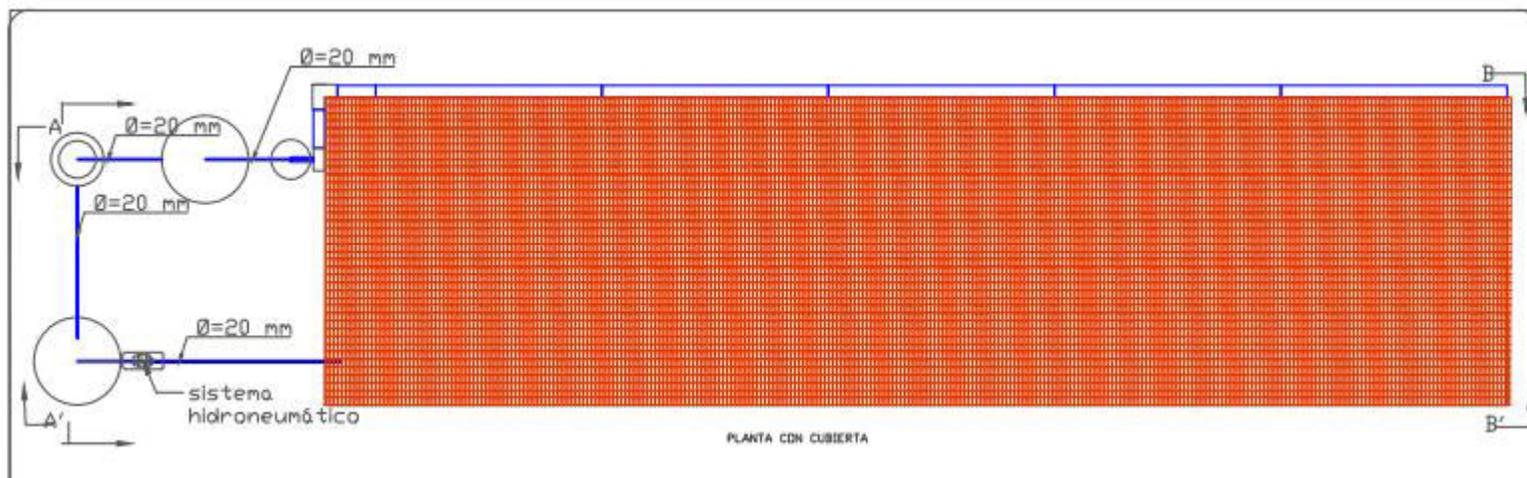
OBSERVACIONES

CONTENIDO
Plano de instalación del sistema

ESCALA: 1:100

PLANO: 01

ESCALA
100



	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS	NOMBRE: Inesora Elizabeth Escobedo Chacón UBICACIÓN: San Andrés	PROYECTO: Diseño de un sistema de abastecimiento primario de agua potable y tratamiento del agua residual en una zona urbana del sector de San Andrés.	COMPROBARE: Diseño de un sistema de abastecimiento primario de agua potable.	UBICACIÓN DEL PROYECTO: 	OBSERVACIONES:	CONTENIDO: Plano sistema de abastecimiento y distribución FECHA: septiembre 2022 PLANO: 01	ESCALA: 1:50
--	--	--	---	---	-----------------------------	----------------	---	-----------------

Bibliografía

- Gobierno de la República del Salvador. (s/f). *Tratamiento y desinfección del agua a base de cloro*. Recuperado el 8 de agosto de 2022, a partir de <http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/agua/TRATAMIENTO%20Y%20DESINFECCION%20DEL%20AGUA%20A%20BASE%20DE.pdf>
- INAMHI. (2015). *DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN*.
- INEN. (2015). *ARTEFACTOS SANITARIOS. CLASIFICACIÓN. INEN 1569* (pp. 1–17).
- INEN. (2020). *AGUA PARA CONSUMO HUMANO REQUISITOS*.
- OPS. (2010). *Sistema de captación y filtrado de aguas lluvias*. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202010.%20Sistemas%20de%20captaci%C3%B3n%20y%20filtrado%20de%20aguas%20lluviaa.pdf
- Proyecto del Fondo de Adaptación. (2013). *Guía de diseño de sistema de cosecha de agua lluvia para consumo humano*. <http://acchonduras.wordpress.com>
- Puratambi, L., & Amagua, C. (2021). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA PARA UN DOMICILIO UBICADO EN EL BARRIO SAN FRANCISCO DE HUARCAY, PARROQUIA LA ECUATORIANA, DMQ*. Escuela Politécnica Nacional.
- TULSMA. (2015). *ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA*.