

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

**PROPUESTA TÉCNICA DE UN SISTEMA PARA REUTILIZACIÓN
DEL AGUA LLUVIA EN DESCARGA DE INODOROS Y LIMPIEZA
DE EXTERIORES EN UNA RESIDENCIA FAMILIAR UBICADA EN
LA CIUDAD DE QUITO, DMQ**

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

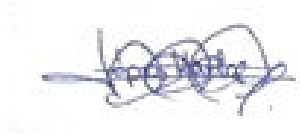
KARLA MICHELLE LÓPEZ TORRES

DIRECTOR: ING. SANDRA PATRICIA PANCHI JIMA Mgtr.

DMQ, enero 2022

CERTIFICACIONES

Yo, Karla Michelle López Torres 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.



Karla Michelle López Torres

karla.lopez@epn.edu.ec

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Karla Michelle López Torres, bajo mi supervisión.



Ing. Patricia Panchi Mgtr.
DIRECTOR

sandra.panchi@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmo que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante 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.

Karla Michelle López Torres

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por la vida, por ser quien guía mi camino, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad, en especial por darme la oportunidad de vivir este momento.

A mis padres por su apoyo incondicional, por ser mi pilar fundamental, por confiar en mí pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron a lo largo del camino, por sus esfuerzos y sacrificios que me han permitido llegar a culminar esta etapa.

A mis maestros por brindar de sus conocimientos, gracias por la paciencia, orientación en cuanto a formación técnica, profesional y humana.

Karla López

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IV
RESUMEN	VI
ABSTRACT.....	VII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcance	2
1.4 MARCO TEÓRICO	3
1.4.1 Fuentes de abastecimiento y consumo de Agua.....	3
1.4.2 Demanda de agua potable en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ).....	3
1.4.3 Consumo eficiente de agua	3
1.4.4 Información hidrográfica	4
1.4.5 Información pluviométrica	5
1.4.6 Sistema de aprovechamiento de agua lluvia.....	6
2 METODOLOGÍA	8
2.1 Información de la línea base.....	8
2.1.1 Descripción del sitio del proyecto.....	8
2.1.2 Condición actual del sistema de captación y recolección en la zona de estudio.....	9
2.1.3 Información pluviométrica	10
2.2 Factores técnicos de diseño	11
2.2.1 Determinación del área de captación.....	11
2.2.2 Determinación del volumen disponible de aguas lluvia	12
2.2.3 Determinación de la demanda de agua total.....	12
2.3 Sistema de reutilización de agua lluvia.....	13
2.3.1 Recolección y Conducción.....	13
2.3.2 Interceptor de primeras aguas	17
2.3.5 Red de distribución	20
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22

3.1 Consideraciones de diseño	22
3.1.1 Precipitación en la zona de estudio.....	22
3.1.2 Volumen disponible	25
3.1.3 Demanda	26
3.2 Sistema de aprovechamiento	27
3.2.1 Incremento del área de captación	27
3.2.2 Recolección y conducción	29
3.2.3 Interceptor de primeras aguas	30
3.2.4 Filtros.....	31
3.2.5 Tanque de almacenamiento.....	33
3.2.6 Red de distribución	34
3.3 Presupuesto del sistema	36
4 CONCLUSIONES	37
5 RECOMENDACIONES	38
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
ANEXOS	
ANEXO I TURNITIN	i
ANEXO II DATOS EXTENSOS.....	iv
ANEXO III PLANOS.....	x
ANEXO IV MEMORIA TÉCNICA	xiv

RESUMEN

El presente proyecto cuenta con una propuesta técnica de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia aplicado a una residencia familiar al sur del DMQ para satisfacer las necesidades hidrosanitarias y de limpieza, tomando en cuenta que del consumo de agua potable por persona al día de 180 L aproximadamente en la ciudad de Quito un 35 % es destinado a la descarga de inodoros.

Se inició con un levantamiento de información pluviométrica de la estación Izobamba (M0003), un reconocimiento del lugar de estudio y el sistema de captación existente, una revisión de normativa hidrosanitaria vigente NEC-11, Cap. 16 y la elección de la metodología aplicable al sistema de aprovechamiento de agua lluvia desde la terraza ubicada en el cuarto piso de la residencia. Posterior se realizó una descripción e interpretación de los resultados más relevantes del diseño de los subsistemas de captación, recolección, conducción, filtración, tanque interceptor de primeras aguas, almacenamiento y distribución evidenciados en planos. Finalmente, se determinó un presupuesto referencial obteniendo un valor de \$ 509.71. para la implementación del sistema completo.

PALABRAS CLAVE: agua lluvia, reutilización, inodoros, grifo, exteriores

ABSTRACT

This project consists of a technical proposal for a rainwater harvesting system applied to a family residence in the south of the DMQ to meet sanitation and cleaning needs, taking into account that approximately 35% of the potable water consumption per person per day of 180 L in the city of Quito is used for flushing toilets.

The project began with a survey of rainfall information from the Izobamba station (M0003), a reconnaissance of the study site and the existing collection system, and a review of current plumbing regulations NEC-11, Chap. 16 and the choice of the methodology applicable to the rainwater harvesting system from the terrace located on the fourth floor of the residence. Subsequently, a description and interpretation of the most relevant results of the design of the catchment, collection, conduction, filtration, first water interceptor tank, and storage and distribution subsystems, as shown in the drawings, was made. Finally, a referential budget was determined, obtaining a value of \$ 509.71 for the implementation of the complete system. In a complementary way, a technical report was prepared that contains an introduction, regulations, methodology, results, conclusions, and recommendations.

KEYWORDS: rainwater, reuse, toilets, tap, exteriors

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad es notorio el desequilibrio entre la disponibilidad de agua apta para el ser humano y la demanda de la misma, el uso de este líquido vital a nivel mundial viene en aumento un en 1 % cada año desde 1980 [1], esto debido a un incremento de la población, cambios en el modelo de consumo y el desarrollo socioeconómico de los países. A todo esto, se suma el cambio climático, desastres naturales, uso incorrecto y sobreexplotación de este recurso ocasionando así que en Latinoamérica exista una disminución en la oferta de agua por persona en un 22 % desde hace veinte años, y en África Subsahariana llegando a una disminución de 41 %. [1] En consecuencia, es necesario la consideración de alternativas sostenibles que permitan optimizar este recurso vital, por ejemplo, la implementación de técnicas como lo es el aprovechamiento de agua pluvial.

Los sistemas que captan agua proveniente de la lluvia son usados como mecanismos para que las personas dispongan de agua para consumo, por lo que se han desarrollado desde la antigüedad. Ejemplos representativos fueron los palacios europeos antiguos alrededor del 1 710 a.C. los cuales contaban con sistemas sofisticados de recolección mediante el uso de techos, cisternas, fuentes y piscinas, en América Latina como el Caribe se recolectaba agua lluvia proveniente de techos y se almacenada en cisternas excavadas y aljibes con sistemas de depósito, canales y diques que les permitía contar con este recurso en los periodos de secano para consumo humano y la agricultura. [2]

En el Ecuador, en base a La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua [3] menciona en el Art 63., que cualquier persona posee la oportunidad de almacenar agua lluvia ya sea para uso doméstico o agrícola permitiendo así la preservación del recurso hídrico y la disminución del uso de agua potable para actividades básicas. La implementación de este sistema permite la reducción de la huella hídrica, reducción de la demanda de agua de potable, reducción de las descargas los sistemas de alcantarillado, adaptándose fácilmente a nivel domiciliario logrando obtener beneficios económicos y ambientales. [4]

El presente proyecto se centrará en los sistemas desde la captación hasta la distribución y el aprovechamiento del agua proveniente de como una alternativa de obtención de dichos beneficios en la residencia familiar elegida.

1.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia para inodoros y limpieza de exteriores en una residencia familiar ubicada en la ciudad de Quito, DQM.

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar el levantamiento de información para la línea base correspondiente a la zona del proyecto.
2. Diseñar los componentes del sistema: captación, conducción, almacenamiento y distribución.
3. Plantear una propuesta técnica de reutilización de agua lluvia para inodoros y limpieza de exteriores.

1.3 Alcance

El presente proyecto busca presentar una propuesta técnica para el diseño de un sistema de aprovechamiento de agua pluvial para ser utilizada en un inodoro y a implementación de un grifo para limpieza de exteriores en una residencia familiar. Este sistema permitirá destinar el agua que es captada en el techo colocado en la terraza para el uso en un inodoro del primero piso sin la necesidad de bombeo ya que cuenta con los metros de columna de agua suficientes, que asegurarán el transporte del agua.

El sistema propuesto se compone de los siguientes subsistemas: captación, recolección, conducción, tanque interceptor, filtración, almacenamiento, distribución y aprovechamiento. La captación se realizará en el techo implementado en la terraza de la residencia, en la conducción se usará tubería PVC para la canaleta y bajante, un tanque interceptor de primeras aguas, que retiene el agua proveniente del lavado del techo, una vez lleno el interceptor mediante una válvula de bola este se cerrará y el agua se dirigirá hacia el filtro para luego pasar al tanque de almacenamiento y finalmente, la distribución será mediante tuberías combinando a la red de agua potable para que el inodoro se encuentre operando diariamente. La propuesta presentada se encuentra sujeta a lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-11, Cap. 16, Norma Hidrosanitaria NHE Agua, del 6 de abril del 2011. Una vez concluido el diseño de la propuesta de aprovechamiento se realiza un presupuesto referencial para conocer la inversión inicial si se desea implementar el sistema desde cero.

1.4 MARCO TEÓRICO

1.4.1 Fuentes de abastecimiento y consumo de Agua.

Se conoce como fuente abastecedora de agua a aquel curso o depósito de agua sea superficial, subterráneo, natural o artificial que desvía el agua de manera temporal para su uso en un sistema de suministro y posterior regreso a la naturaleza. [5]

Para el abastecimiento público la elección de la fuente incluye consideraciones como cantidad de agua disponible, calidad, seguridad de abastecimiento y los costos de construcción, operación y mantenimiento. En la provincia de Pichincha las fuentes de abastecimiento que son usadas provienen de aguas subterráneas, trasvases de subcuencas orientales y en particular de la cuenta alta del río Esmeraldas. [6] En particular para el sur de la ciudad de Quito (DMQ), el abastecimiento de agua potable proviene principalmente de los sistemas: Mica-Quito Sur y Lloa. [7]

1.4.2 Demanda de agua potable en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)

La empresa responsable del sistema de agua potable en la ciudad de Quito es la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS-Q) bajo el cargo del Municipio de Quito mismo que cuenta con una planificación estratégica, técnica y financiera. Este se encuentra está constituido por 344 tanques de los cuales se encuentran 183 en la ciudad y 161 en parroquias con alrededor de 5,652 km de redes instaladas. [8]

De acuerdo a las proyecciones demográficas de la ciudad a finales del 2020 se contaba con una población estimada de 2.7 millones de habitantes de los cuales un 70.3 % reside en la zona urbana y se proyecta un crecimiento a 3.7 millones para el año 2040. Este acelerado crecimiento implica que la demanda máxima horaria proyectada sea de 9 982 L/s y 11 348 L/s para los años 2020 y 2040, respectivamente. [9]

1.4.3 Consumo eficiente de agua

La Organización Mundial de la Salud (OMS), reconoce como derecho el acceso a una cantidad de líquido vital estimada desde los 50 a 100 litros diarios por persona para el consumo personal y doméstico de forma segura y asequible, mientras que según de la EPMAPS-Q, en la ciudad se consume hasta 220 litros de agua por persona diariamente, duplicando así la cantidad necesaria.

La manera en que se encuentran distribuidos los usos de agua por las diferentes actividades de consumo en el DMQ se observa en la Figura 1, siendo el de mayor consumo, el uso del inodoro con un 35 % del total. [10]

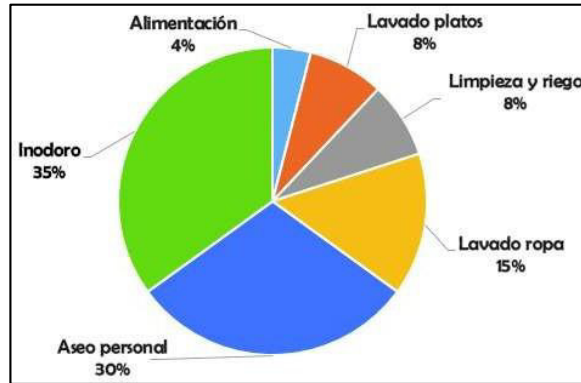


Figura 1. Consumo de agua diario por persona según actividad en Quito, Ecuador. [10]

- **Descarga de inodoros**

En base a la norma NTE INEN 1571:2011 [11], segunda revisión, en la sección 3.1.6.7, sobre el máximo consumo tanto para inodoros como urinarios con presiones entre 0.14 y 0.55 MPa se debe dar cumplimiento con lo referido en la Tabla 1.

Tabla 1. Máximo consumo de agua en inodoros y urinarios. [11]

Aparato	Descarga (L)	
	Alta eficiencia	Bajo consumo
Inodoros	4.8	6.2
Urinarios	1.9	3.8

1.4.4 Información hidrográfica

- **Precipitación**

Se entiende por precipitación a cualquier agua meteórica, es decir proveniente del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie terrestre incluyendo sus formas básicas: lluvia, granizo y nieve y en menor cantidad, pero apreciable en las precipitaciones totales se toma en cuenta la escarcha y rocío. [12]

En Ecuador la precipitación media anual se encuentra en los 2 249 mm, esto dado por factores meteorológicos y topográficos destacando la distribución heterogénea en relación a espacio – temporal, es así como en particular en la ciudad de Quito existen

precipitaciones que sobrepasan los 4 500 mm anuales en la zona sur, mientras que en la zona norte se tiene precipitaciones menores a 400 mm anuales. [13] En cuanto a la distribución anual en la región Sierra se concentra la precipitación media principalmente de febrero a mayo y desde octubre a diciembre teniendo un proceso de pico doble. [14]

- **Agua de lluvia**

Pese a que el agua procedente de la lluvia no es potable esta posee una buena calidad debido a sus concentraciones bajas de contaminantes comparado con otras fuentes de abastecimiento, la calidad de la misma precisa principalmente de dos factores: condición atmosférica y características de la superficie de captación. Se presenta en general microorganismos, partículas suspendidas, materia orgánica y metales pesados que se presentan en forma suspendida en la atmósfera y que arrastrados durante las precipitaciones. [15]

Las características del agua lluvia varían sin embargo se puede mencionar de manera general que es ligeramente ácida, debido al dióxido de carbono (CO₂) presente en el aire que al disolverse en el agua lluvia forma ácido carbónico, obteniendo un potencial de hidrógeno (pH) entre 5.6 y 6 aproximadamente en las concentraciones atmosféricas normales de CO₂. [16]

La caracterización del agua pluvial y sus criterios para reutilización en inodoros se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización del agua pluvial y sus criterios para reutilización en inodoro. [17]

Parámetro	Unidad	Reutilización inodoro
pH	-	6-9
Turbiedad	UNT	<5
Coliformes fecales	NMP/100 MI CF	<1000

1.4.5 Información pluviométrica

- **Estación meteorológica**

Se define como instalación que se destina para la medición y registro de manera regular fenómenos o variables atmosféricas como: Precipitación e intensidad, presión, temperatura, humedad, radiación solar, velocidad y dirección del viento, entre otras. Los datos recolectados se usan para la elaboración de predicciones meteorológicas y estudios climáticos. [18]

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) es el responsable en Ecuador de la generación de datos y difundir la información hidrometeorológica, cuenta los registros meteorológicos de 753 estaciones meteorológicas entre automáticas y convencionales, siendo las estaciones meteorológicas automáticas las que cuentan con periodicidad horaria lo cual permite obtener una gran cantidad de datos pluviométricos actualizados. Dichas estaciones se encuentran en operación desde el 2013, con un total de 170 en todo el Ecuador. [19]

1.4.6 Sistema de aprovechamiento de agua lluvia

Los sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales, comúnmente constan de: captación, recolección, conducción, tanques captación, recolección, conducción, interceptor y almacenamiento. [20]

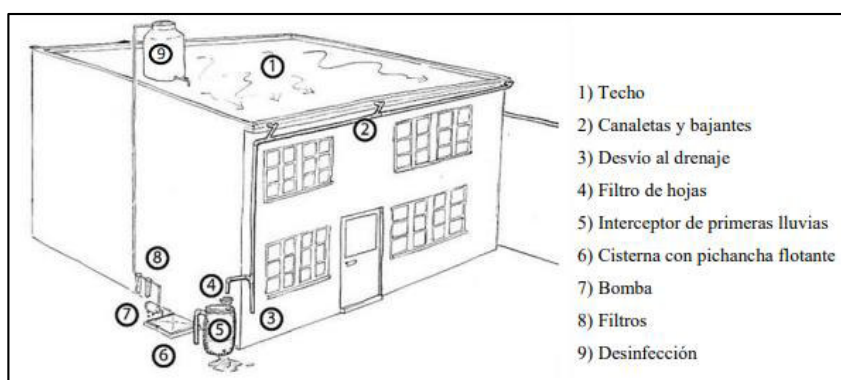


Figura 2. Componentes principales de un sistema de aprovechamiento de agua pluvial.

[21]

- **Captación**

El subsistema de captación se conforma del techo de la edificación o área específica destinada a la captación, debe contar con un área mínima que garantice la dotación mínima requerida, a su vez es necesario contar con una pendiente mínima de 2 % con el fin de generar escurrimiento hacia la tubería de recolección llamada canaleta. [20] Para el cálculo respectivo se considera la proyección horizontal del techado, techo que es comúnmente construido con materiales comunes como planchas o láminas de zinc y tejas de arcilla. [22]

- **Recolección y conducción**

El subsistema de recolección y conducción se conforma de canaletas adyacentes al borde del techo que tiene como función recoger el agua lluvia que fluirá por las tuberías verticales de conducción o comúnmente llamadas bajantes hechas de materiales en preferencia livianos, fáciles de unir y resistentes al agua con el fin de evitar fugas. Los materiales que

se pueden emplear son el PVC, bambú, madera o metal. [20] En este punto se deberá implementar un filtro tipo malla o dispositivo semejante a un separador de hojas que impida la entrada de material sólido arrastrado en la captación. Las canaletas por lo general tienen que contar con una pendiente mínima de 2% que asegure velocidades óptimas e impidan la sedimentación en el sentido del flujo hacia el bajante. [22]

- **Interceptor de primeras aguas**

Usualmente se lo conoce como tanque de descarga de aguas provenientes del lavado del techo cuenta con los materiales que existan al inicio de la precipitación, al implementarlo se impide que algún material no deseado vaya al almacenamiento logrando la minimización de contaminación. Se estima que el volumen de agua requerido para el lavado del techo es aproximadamente de un litro por metro cuadrado de techo. [20]

- **Almacenamiento**

El agua recolectada es llevada a tanques de volumen necesario que garanticen la demanda establecida, deben contar con las siguientes características: impermeabilidad que eviten pérdidas por transpiración o goteo, ser herméticos para evitar la contaminación, proliferación de insectos y el ingreso de la luz solar y tener abertura amplia para la realización de limpieza y mantenimiento. [22]

- **Red de Distribución**

Con el fin de distribuir el agua almacenada el sistema debe contar con un sistema de tuberías que pueden ser de PVC, Polietileno, Polipropileno o Hierro Galvanizado con accesorios como: codos, tees, uniones e implementar en el extremo de la salida una llave o válvula de control, que son utilizados en construcción y fontanería en el transporte de agua a presiones altas que posteriormente contará con la correspondiente toma domiciliaria. [22]

- **Obras complementarias**

Las obras complementarias se destinan al mejoramiento o mantenimiento del sistema general, estas van desde sedimentadores, filtros, disipadores de energía a equipos de bombeo que depende de la localización. [22]

2 METODOLOGÍA

2.1 Información de la línea base

2.1.1 Descripción del sitio del proyecto

El planteamiento de la propuesta técnica de reutilización de agua lluvia para inodoros y limpieza de exteriores se dio lugar en una residencia familiar de cuatro pisos ubicada en Pichincha, Distrito Metropolitano de Quito, Barrio Reino de Quito, perteneciente a la zona urbana, por lo que, cuenta con todos los servicios básicos. En la Tabla 3, se muestra los datos de la ubicación de la residencia obtenidos en Google Earth.

Tabla 3. Datos de ubicación de residencia. [23]

Ubicación	Localidad
Provincia	Pichincha
Cantón	Quito
Altitud	2 999 m.s.n.m
Latitud	0°15'28.0"S
Longitud	78°33'38.3"W

Adicionalmente se localizó la zona de implementación de la captación ubicada en la terraza accesible del cuarto piso de la residencia, mientras que el inodoro y el grifo para limpieza de exteriores se encuentran ubicados en el departamento del primer piso. (Ver Figura 3.)



Figura 3. Zona de implementación de propuesta.

2.1.2 Condición actual del sistema de captación y recolección en la zona de estudio

Se determinó mediante una inspección que el lugar cuenta con un sistema básico de captación de agua lluvia. Por su parte, el área se encuentra construida sobre una base metálica y cubierta de zinc (Ver Figura 4), con una longitud horizontal de 2.1 m por 4.3 m de ancho, para la obtención de la pendiente se calculó a partir del triángulo formado entre la distancia vertical (a) y la distancia horizontal (b) mediante la ecuación 1.,

$$\%S = \frac{a}{b} * 100$$

Ecuación 1. Pendiente de la cubierta. [23]

Dónde:

- %S : pendiente de la cubierta [%]
- a : altura de la cubierta [m]
- b : ancho de la cubierta [m]



Figura 4. Área de captación existente.

Durante la inspección del subsistema de recolección y conducción se identificó los elementos que lo componen contando con una canaleta hecha a partir de la mitad de un tubo de PVC de 4 pulgadas mismo que es conectado a una tubería vertical de 2 pulgadas por una tee de 4" y una reducción de 4 a 2", adicional dos codos de 90° hasta el tanque de almacenamiento como se observa en la Figura 5. A continuación se constató que el agua almacenada es utilizada en lavado o limpieza. En cuanto al estado de la estructura como de sus elementos se observó que tanto la estructura como tuberías y accesorios se encuentran en buen estado.



Figura 5. Sistema de captación y recolección existente.

2.1.3 Información pluviométrica

Para la determinación de la información pluviométrica en la zona de estudio fue necesario establecer la estación meteorológica adecuada siendo la estación meteorológica Izobamba (M0003) la más cercana a la residencia familiar. En la Tabla 4 se observa los datos de ubicación de la estación obtenidos del INAMHI.

Tabla 4. Datos de ubicación de la estación meteorológica Izobamba. [24]

Ubicación	Localidad
Provincia	Pichincha
Cantón	Quito
Altitud	3 058 m.s.n.m
Latitud	0.3658
Longitud	78.555

- **Registros de precipitación anual (INAMHI)**

Los registros de precipitación de la estación Izobamba se obtuvieron en base a los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI. Se encontraron los datos históricos más actualizados de 10 años atrás desde el año 2008 hasta el 2018 (Anexo II), los cuales fueron clasificados tanto de forma mensual como anual y de allí se obtuvo el promedio requerido. Además, se consideró los periodos con las diferentes variaciones estacionales, desde las épocas con fuertes precipitaciones hasta las que son caracterizadas como época seca.

- **Precipitación promedio mensual**

A partir del promedio mensual de precipitación del 2008 al 2018 se obtuvo la precipitación media por mes de todos los años considerados. Se aplicó la ecuación 2 para determinar los valores medios mensuales de precipitación.

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

Ecuación 2. Precipitación promedio mensual. [25]

Dónde:

- P_{pi} : precipitación media mensual de los años considerados [mm]
- P_i : valor de precipitación mensual al mes [mm]
- n : número de años considerados

2.2 Factores técnicos de diseño

2.2.1 Determinación del área de captación

Las dimensiones del área de captación efectiva se basaron en los siguientes factores: el abastecimiento del sistema y la estética de la terraza.

- **Coefficiente de escorrentía**

Con respecto a la elección del coeficiente de escorrentía (Ce) se determinó el tipo de material del área aportante, mismo que se encuentra entre los valores de 0.6 a 0.9 como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. Coeficiente de escorrentía. [20]

Coeficiente de escorrentía (Ce)	
Calamina metálica	0.9
Teja de arcilla	0.8 - 0.9
Madera	0.8 - 0.9
Paja	0.6 – 0.7

El material del área de aporte de la residencia usado fue el de calamina metálica (zinc), por lo que se usó el valor de 0.9 para el posterior desarrollo de los cálculos correspondientes.

2.2.2 Determinación del volumen disponible de aguas lluvia

Para la determinación del volumen disponible se tomó en cuenta: la precipitación promedio mensual, coeficiente de escurrimiento y el área de aporte. Posteriormente se procedió a calcular la cantidad de agua que es captada en la superficie del techo al mes mediante la ecuación 3.

$$A_i = \frac{P_{pi} * C_e * A_c}{1000}$$

Ecuación 3. Volumen disponible de aguas lluvia. [20]

Donde:

- A_i : volumen de agua mensual captado [m^3]
- P_{pi} : precipitación media por mes [litros/ m^2]
- C_e : coeficiente de escurrimiento del techo [adimensional]
- A_c : área de captación [m^2]

2.2.3 Determinación de la demanda de agua total

Para conocer la demanda de agua total se sumó la demanda de agua para inodoros como la demanda para uso de exteriores.

- **Determinación de la demanda de agua para inodoros**

A partir de lo planteado por la CEPIS, la demanda mensual se obtuvo a partir de la cantidad mensual de agua que se necesita para suplir las necesidades de los beneficiarios por medio de la ecuación 4.

$$D_i = \frac{N_u * N_d * Q_i}{1000}$$

Ecuación 4. Demanda mensual total. [20]

Donde:

- D_i : demanda mensual [m^3]
- N_u : número de usuarios beneficiados
- N_d : número de días al mes
- Q_i : caudal total del inodoro [L/hab/día]

Para la determinación del caudal total del inodoro se empleó la siguiente ecuación:

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

Ecuación 5. Caudal total de inodoros. [26]

Donde:

- Q_i : caudal total del inodoro [L/hab/día]
- N : número de veces que una persona usa el inodoro al día
- V : volumen de agua que requiere cada inodoro para su funcionamiento [L]
- t : tiempo [día]

- **Determinación de la demanda de agua para exteriores**

Para conocer el valor de la demanda de agua para limpieza de exteriores se tomó en cuenta la dotación diaria de agua en Quito de 180 l/hab día y el porcentaje de uso de 8 % para limpieza y riego, una persona hace uso de una vez por semana, así mediante la ecuación 4 se calculó la demanda mensual y diaria respectivamente.

2.3 Sistema de reutilización de agua lluvia

2.3.1 Recolección y Conducción

- **Canaleta**

Conocida el área de captación, para conocer el caudal y el volumen que maneja la canaleta, fue necesario determinar el caudal pluvial en base al método racional americano que relaciona el área de aporte, intensidad de lluvia y coeficiente de escurrimiento mediante la siguiente expresión:

$$Q_p = \frac{C * I * A}{360}$$

Ecuación 6. Caudal pluvial. [27]

Donde:

- Q_p : caudal pluvial [m³/s]
- C : coeficiente de escurrimiento [adimensional]

- I : intensidad de lluvia [mm/h]
 A : área de aporte [Ha]

Respecto al cálculo de intensidad de lluvia se utilizó la ecuación 7 que relaciona Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de la estación Izobamba para intervalos de tiempo entre 5 < 30 minutos, basado en la actualización del estudio de lluvias intensas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. [25]

$$I = 164.212 * T^{0.1650} * t^{-0.4326}$$

Ecuación 7. Intensidad de lluvia. [25]

Donde:

- I : intensidad de lluvia [mm/h]
 T : período de retorno [años]
 t : tiempo de concentración o duración [min]

Por su parte, el tiempo de concentración se calculó en base al método de Kirpich mediante la ecuación:

$$t = 0.000323 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Ecuación 8. Tiempo de concentración. [27]

Donde:

- t : tiempo de concentración [min]
 L : Longitud [m]
 S : pendiente del techo [m/m]

Para la obtención del diámetro de la tubería de conducción se utilizó la ecuación 9.

$$D = 1.548 \left(\frac{n * Q_p}{S^{1/2}} \right)^{3/8}$$

Ecuación 9. Diámetro de tubería de conducción. [28]

Donde:

- D : diámetro de tubería de conducción [m]
- n : coeficiente de Manning de PVC [adimensional]
- Q_p : caudal pluvial [m³/s]
- S : pendiente [m/m]

Se calculó el área transversal y el perímetro mojado mediante las ecuaciones con un diámetro de tubería de 4 pulgadas que funcionaba como canaleta previamente:

El área trasversal de la canaleta (semicírculo) mediante la ecuación 10:

$$A_t = \frac{\pi * \emptyset^2}{8}$$

Ecuación 10. Área transversal. [28]

Donde:

- A_t : área transversal [m²]
- \emptyset : base de la canaleta [m]

El perímetro mojado se obtuvo mediante la ecuación 11.

$$P_m = \frac{\pi * \emptyset}{2} + \emptyset$$

Ecuación 11. Perímetro mojado. [28]

Donde:

- P_m : perímetro mojado [m]
- \emptyset : base de la canaleta [m]

En relación al caudal máximo de la canaleta, se usó la ecuación 12 y un coeficiente rugosidad (n) para PVC con un valor de 0.009.

$$Q_c = \frac{1}{n} * A_t * (R_h)^{\frac{2}{3}} * S_0^{0.5}$$

Ecuación 12. Ec. de Manning - Caudal en canal abierto. [28]

Donde:

- Q_c : caudal en canal abierto [m^3/s]
- n : coeficiente de rugosidad [adimensional]
- R_h : radio hidráulico [m]
- A_t : Área de la sección transversal [m^2]
- S_0 : pendiente del canal [m/m]

El cálculo del radio hidráulico se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$R_h = \frac{A_t}{P_m}$$

Ecuación 13. Radio hidráulico. [28]

Donde:

- R_h : radio hidráulico [m]
- A_t : área de la sección transversal [m^2]
- P_m : perímetro mojado [m]

Para verificar que el agua no se va a desbordar, fue necesario conocer el caudal que se produce en un día con una precipitación máxima mediante la ecuación 14.

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{Vm\acute{a}x}{tp}$$

Ecuación 14. Caudal en una precipitación máxima. [25]

Donde:

- $Q_{m\acute{a}x}$: caudal máximo [m^3/s]
- tp : tiempo de duración de la precipitación [s]
- $Vm\acute{a}x$: volumen máximo de agua captada [m^3]

El volumen máximo que puede ser captado en la superficie del techo de una vivienda se la calculó mediante la ecuación 15.

$$Vm\acute{a}x = Pm\acute{a}x * Acc$$

Ecuación 15. Volumen máximo de agua captada. [25]

Donde:

$V_{m\acute{a}x}$: tiempo de duraci3n de la precipitaci3n [m^3]

$P_{m\acute{a}x}$: precipitaci3n m\acute{a}xima [mm]

Acc : \u00e1rea de captaci3n de la canaleta [m^2]

- **Bajante**

Para conocer la velocidad de flujo de la tuber\u00eda, as\u00ed como el caudal de la bajante, se modific3 la ecuaci3n de Manning considerando que el flujo de agua ocupa 1/3 del \u00e1rea total de la tuber\u00eda y la pendiente de 100% ya que se encuentra en posici3n vertical (Salazar, 2016), por lo que las ecuaciones usadas fueron:

$$V_b = \frac{1}{n} * \left(\frac{D}{12}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Ecuaci3n 16. Velocidad de flujo del bajante. [29]

Donde:

V_b : Velocidad de flujo de la bajante [m/s]

n : coeficiente de Manning [adimensional]

D : Di\u00e1metro del bajante [m]

$$Q_b = \frac{A}{3} * V_b$$

Ecuaci3n 17. Caudal de la bajante. [29]

Donde:

Q_b : Caudal de la bajante [m^3/s]

V_b : Velocidad de flujo de la bajante [m/s]

A : \u00c1rea de la bajante [m^2]

2.3.2 Interceptor de primeras aguas

De acuerdo con los par\u00e1metros establecidos por la CEPIS, se requiere de un litro de agua pluvial para el lavado de un metro cuadrado de la superficie de aporte, por lo tanto, se calcul3 el volumen del tanque interceptor mediante la ecuaci3n 18.

$$V_{\text{int}} = (1 \frac{L}{m^2} * A_t) / 1000$$

Ecuación 18. Volumen del interceptor de primeras aguas. [30]

Donde:

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

A_t : área del techo [m²]

2.3.3 Filtros

- **Filtro de hojas y protector de bajante**

Este dispositivo tiene la finalidad de evitar el ingreso de agentes contaminantes al depósito o tanque de almacenamiento. Se escogerá el filtro de acuerdo al diámetro del bajante.

- **Filtro de alta tasa**

Para el sistema se consideró el diseño de un filtro de alta tasa con base en las principales características de filtros según Rojas:

Tabla 6. Principales características de un filtro de alta tasa. [31]

Características	Filtro de alta tasa
Tasa de filtración	180 – 480 m/d
Medio	Antracita y arena
Distribución del filtro	Estratificado: De grueso a fino
Duración de carrera	12 – 36 horas
Pérdida de carga	Inicial: 0.3 m Final: 2,4-3 m
Profundidad del medio filtrante	Antracita: 0.4 – 0.6 m Arena: 0.15 -0.3 m
Profundidad de grava	0.3 – 0.45 m

El área para el tanque y su respectivo diámetro se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:

$$A_f = \frac{\text{Caudal de diseño}}{\text{Tasa de filtración}}$$

Ecuación 19. Área de infiltración. [31]

$$D_f = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

Ecuación 20. Diámetro del filtro.

Donde:

D_f : Diámetro del filtro [m]

A_f : área del filtro [m²]

El rango de la tasa de filtro para un filtro lento de arena se encuentra entre 180-480 m/d. Se eligió una tasa de infiltración de 480 m/d, y se tomó el caudal de la bajante de 0.00068 m³/s con el cual se obtuvo un valor medio del área para el tanque. Con dicha área se procedió a calcular el diámetro del tanque. Mientras que la altura total se calculó mediante la sumatoria de la altura de arena fina, antracita, grava y el borde libre. Las capas se encuentran dispuestas como se observa en la Figura 6, donde 3 es antracita, 4 arena fina y 2 grava.

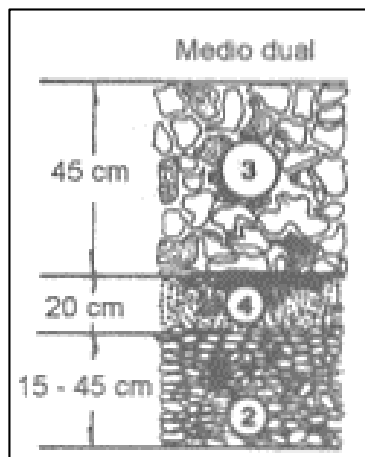


Figura 6. Ejemplo de medio dual de filtración. [31]

2.3.4 Tanque de almacenamiento

El volumen que es requerido para de almacenamiento del agua lluvia se calculó mediante la diferencia de la oferta de agua, es decir, el volumen disponible de agua y la demanda de la misma para el uso del inodoro y del grifo de limpieza de exteriores. Se tomó en cuenta el mayor valor de diferencia positivo, así como negativo.

$$V_i = A_{ai} - D_{ai}$$

Ecuación 21. Volumen del tanque de almacenamiento. [20]

Donde:

Vi : Volumen del tanque de almacenamiento [m³]

Aai : volumen de agua disponible [m³]

Dai : volumen de agua demandada [m³]

2.3.5 Red de distribución

- **Caudal de diseño para las tuberías de distribución**

El caudal de diseño para las tuberías de distribución hace referencia al caudal con el que van a estar diseñadas las tuberías desde la salida del tanque hasta la conexión de las instalaciones sanitarias respectivas.

Para determinar el caudal de diseño se utilizó el método de certeza total, considerando de esta manera que el caudal máximo posible fue el caudal instantáneo de cada artefacto sanitario por el número de artefactos en este caso es un inodoro y un grifo de manguera por lo que el caudal de diseño es igual al caudal instantáneo.

Requisitos de diseño

En base a la norma NEC-11 Capítulo 16, los requisitos que debe cumplir la infraestructura interior del suministro de agua para cada aparato sanitario contempla el caudal, presión y diámetro según NTE INEN 1369 detallados en la Tabla 6.

Tabla 7. Caudal, presión y diámetro normados en aparatos de consumo. [11]

Artefacto	Caudal instantáneo (l/s)	Presión		Diámetro (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
Calderas/ calentadores	0.30	15.0	10.0	20
Ducha	0.20	10.0	3.0	16
Fregadero de 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	0.20	7.0	3.0	16
Inodoro con fluxor	1.25	15.0	10.0	25
Lavabo	0.10	5.0	2.0	16

Continuación Tabla 7.

Lavadora	0.20	7.0	3.0	16
Lavavajillas	0.20	7.0	3.0	16
Urinario con fluxor	0.50	15.0	10.0	16
Urinario con llave	0.15	7.0	3.0	20
Sauna, turco, hidromasaje doméstico	1.00	15.0	10.0	25

Para calcular la velocidad de diseño y comprobar que se encuentre bajo la norma se utilizó la ecuación 22.

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

Ecuación 22. Velocidad de diseño. [28]

Donde:

- V : velocidad de diseño [m/s]
- Q : caudal de diseño [m³/s]
- A : área de la tubería [m²]

- **Cálculo de pérdidas la distribución**

Perdidas por fricción

Con relación a las pérdidas de carga por longitud se aplicó la siguiente ecuación en base a la norma NEC-11.

$$h_f = m * L * \frac{V^{1.75}}{D^{1.25}}$$

Ecuación 23. Pérdidas por fricción. [32]

Donde:

- h_f : pérdidas por fricción [m.c.a]
- m : constante del material del tubo PVC [adimensional]
- L : longitud de la tubería de distribución [m]
- D : diámetro de la tubería de distribución [m]

V : Velocidad de diseño [m/s]

Pérdidas de carga por accesorios

Llamada también pérdidas menores, son ocasionadas por incorporación de accesorios en el sistema de tuberías como: codos, válvulas, uniones etc. Se calculó estas pérdidas utilizando la ecuación 24, para los cuatro accesorios que se encuentran en la conducción los mismos son, reducción de 4" a 2", yee, codo de 45°y válvula de bola.

$$h_{CM} = k * \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 24. Pérdidas por accesorios. [28]

Donde:

- h_{CM} : pérdidas por accesorios [m]
- k : factor del tipo de accesorio [adimensional]
- v : velocidad del fluido en la tubería [m/s]
- g : constante gravitacional [m/s²]

El anexo II.II muestra el factor de pérdida del tipo de accesorio de acuerdo al diámetro nominal.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Consideraciones de diseño

3.1.1 Precipitación en la zona de estudio

Primero se determina que la estación Izobamba se encuentra cercana a la residencia como se observa en la Figura 7. Comúnmente dicha estación es tomada como referencia para el sur de la ciudad de Quito.

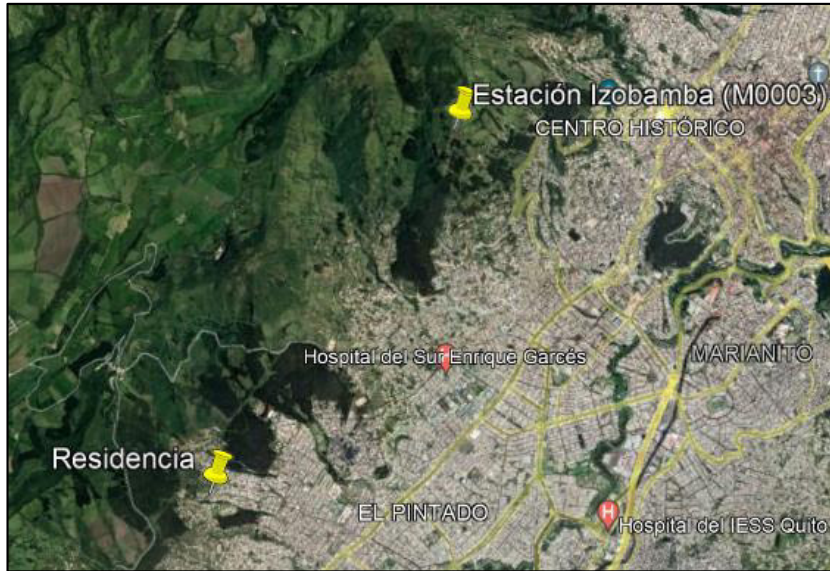


Figura 7. Ubicación de Estación Izobamba y residencia de estudio.

En base a los registros pluviométricos de la estación Izobamba se obtuvo la precipitación anual acumulada desde el año 2008 al 2018 presentados en la Figura 8.

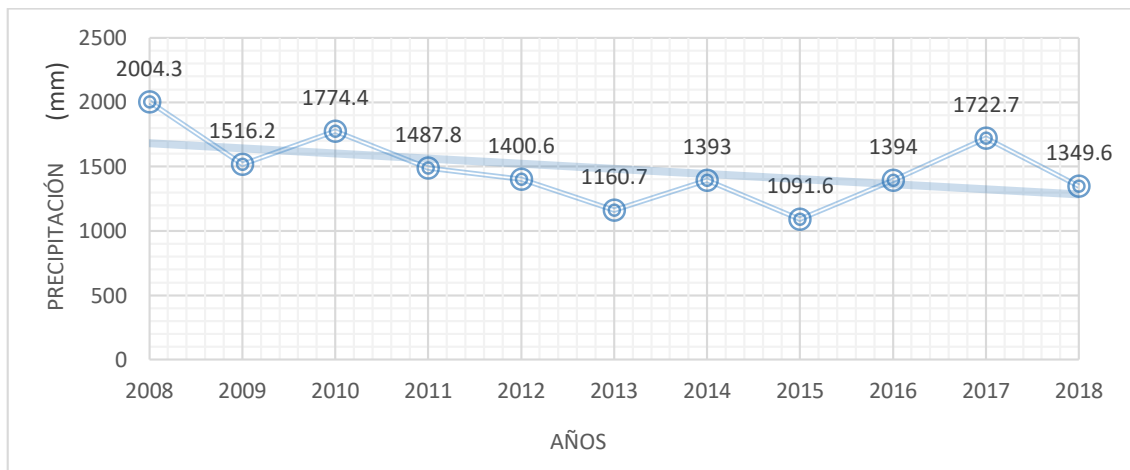


Figura 8. Registro de la precipitación anual acumulada en la estación Izobamba en el período 2008 - 2018.

Se observa que la precipitación anual acumulada durante los 10 años analizados se encuentra en un rango que va desde los 2004.3 mm como precipitación máxima anual en el 2008 hasta los 1091.6 mm como precipitación mínima anual en el 2015. En consecuencia, se tiene que las precipitaciones son variables cada año teniendo así la necesidad de conocer los datos pluviométricos de los años del 2008 al 2018 para obtener una mejor precisión al momento de implantar el sistema.

Mediante la ecuación 2, la sumatoria de la precipitación mensual de los años mencionados presentada en la última fila del Anexo II, se calcula la media mensual de precipitación en la estación Izobamba. Como ejemplo se presenta el cálculo para el mes de enero. Ver la Tabla 8, para los meses restantes.

$$P_{pi(\text{Enero})} = \frac{1719.5}{10} = 172.0 \text{ mm}$$

Tabla 8. Precipitación media mensual - Estación Izobamba.

Mes	Precipitación media mensual (mm)
Enero	172.0
Febrero	185.9
Marzo	231.9
Abril	217.2
Mayo	170.5
Junio	62.0
Julio	40.7
Agosto	45.2
Septiembre	59.0
Octubre	149.5
Noviembre	140.4
Diciembre	145.4

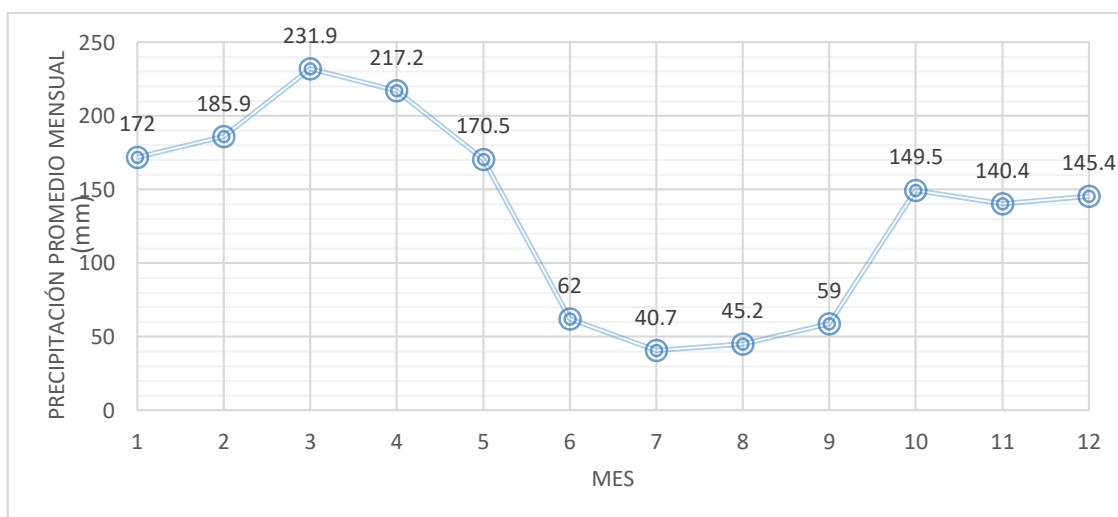


Figura 9. Precipitación media mensual

Con respecto a los resultados que se muestran en la Tabla 7, se observa que efectivamente como menciona la bibliografía los meses en los cuales existe mayor precipitación son de febrero mayo y de octubre a diciembre por ende se podrá captar mayor volumen de aguas lluvia, mientras que los meses de verano o temporada seca se dan en los meses de junio a octubre. Se realiza este análisis con el fin de prever el desabastecimiento en época seca mayormente en el mes de julio con 40.7 mm siendo este el pico más bajo en todo el año y el mes en el cual sería óptimo implementar el sistema siendo marzo o abril los meses en los que se encuentran precipitaciones medias de 231.9 mm y 217.2 mm respectivamente.

3.1.2 Volumen disponible

A modo de ejemplo se desarrolló el cálculo del mes de enero, mientras que en la Tabla 9 se observa el volumen disponible de agua lluvia para todos los meses.

$$A_i = \frac{172.0 \text{ mm} * 0.9 * 8.6 \text{ m}^2}{1000} = 1.33 \text{ m}^3/\text{mes}$$

Tabla 9. Volumen disponible de agua lluvia área existente.

Mes	D	Ppi (mm)	Ce	Ac (m2)	Ai (m3/mes)	Ai (m3/d)	Vint (m3/d)	Vd (m3/d)
Enero	31	172.00	0.90	8.60	1.33	0.04	0.01	0.03
Febrero	28	185.90	0.90	8.60	1.44	0.05	0.01	0.04
Marzo	31	231.90	0.90	8.60	1.79	0.06	0.01	0.05
Abril	30	217.20	0.90	8.60	1.68	0.06	0.01	0.05
Mayo	31	170.50	0.90	8.60	1.32	0.04	0.01	0.03
Junio	30	62.00	0.90	8.60	0.48	0.02	0.01	0.01
Julio	31	40.70	0.90	8.60	0.32	0.01	0.01	0.00
Agosto	31	45.20	0.90	8.60	0.35	0.01	0.01	0.00
Septiembre	30	59.00	0.90	8.60	0.46	0.02	0.01	0.01
Octubre	31	149.50	0.90	8.60	1.16	0.04	0.01	0.03
Noviembre	30	140.40	0.90	8.60	1.09	0.04	0.01	0.03
Diciembre	31	145.40	0.90	8.60	1.13	0.04	0.01	0.03

Como se observa el volumen disponible diario obtenido toma en cuenta la diferencia entre el volumen disponible captado y el volumen del interceptor de primeras aguas.

3.1.3 Demanda

En base al Censo de Población y Vivienda del 2010, del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos en promedio habitan en una vivienda entre 3 y 4 personas, en consecuencia, se emplea el valor de 4 habitantes por vivienda. Además, se conoce que normalmente cada persona utiliza el inodoro un promedio de 4 veces al día, de las cuales: 3 son para desechar líquidos y 1 para sólidos. [34] El inodoro existente es de bajo consumo por lo que, la demanda diaria para inodoro calculada en base de la ecuación 5, se muestran los resultados en la Tabla 10.

$$Q_i = \frac{4/\text{día} * 6.2 \text{ L}}{1 \text{ día}} = 24.8 \frac{\text{L}}{\text{hab} * \text{día}}$$

Por lo que aplicando la ecuación se obtuvo el caudal total para el mes de enero.

$$D_i = \frac{4 \text{ hab} * 31 \text{ días} * 24.8 \frac{\text{L}}{\text{hab} * \text{día}}}{1000} = 3.1 \text{ m}^3$$

Tabla 10. Demanda total mensual y diaria para inodoro.

Mes	Número de usuarios al día (Nu)	Número de días del mes (Nd)	Dot (L/hab/día)	Di mensual (m ³ /mes)	Di diaria (m ³ /día)
Enero	4	31	24.80	3.08	0.10
Febrero	4	28	24.80	2.78	0.10
Marzo	4	31	24.80	3.08	0.10
Abril	4	30	24.80	2.98	0.10
Mayo	4	31	24.80	3.08	0.10
Junio	4	30	24.80	2.98	0.10
Julio	4	31	24.80	3.08	0.10
Agosto	4	31	24.80	3.08	0.10
Septiembre	4	30	24.80	2.98	0.10
Octubre	4	31	24.80	3.08	0.10
Noviembre	4	30	24.80	2.98	0.10
Diciembre	4	31	24.80	3.08	0.10

De manera similar se obtuvo la demanda de agua para limpieza de exteriores que toma en cuenta la dotación diaria por habitante y el porcentaje destinado a la actividad de limpieza y riego.

$$Q_i = 180 \frac{\text{L}}{\text{hab día}} * 0.08 = 14.4 \frac{\text{L}}{\text{hab} * \text{día}}$$

Por lo que aplicando la ecuación 4 se obtuvo el caudal total para el mes de enero.

$$D_i = \frac{1 \text{ hab} * 4 \text{ días} * 14.4 \frac{\text{L}}{\text{hab} * \text{día}}}{1000}$$

$$D_i = 0.078 \text{ m}^3/\text{mes} = 0.02 \text{ m}^3 / \text{día}$$

Por lo tanto, la demanda total es de 0.1 m³/día.

Resulta que el volumen disponible obtenido del área de aportación existente es mucho menor que requerimiento hídrico necesario para satisfacer la demanda total, en consecuencia, fue necesario aumentar el área de aporte ya que como se observa en la Tabla 11., con referencia a la diferencia de volumen diario disponible y la demanda diaria todos los valores obtenidos son negativos.

Tabla 11. Diferencia entre volumen disponible y demanda diaria.

Mes	Di diaria (m ³ /diaria)	Volumen disponible (m ³ /día)	Diferencia
Enero	0.10	0.03	-0.07
Febrero	0.10	0.04	-0.06
Marzo	0.10	0.05	-0.05
Abril	0.10	0.05	-0.06
Mayo	0.10	0.03	-0.07
Junio	0.10	0.01	-0.10
Julio	0.10	0.00	-0.10
Agosto	0.10	0.00	-0.10
Septiembre	0.10	0.01	-0.10
Octubre	0.10	0.03	-0.08
Noviembre	0.10	0.03	-0.08
Diciembre	0.10	0.03	-0.08

3.2 Sistema de aprovechamiento

3.2.1 Incremento del área de captación

Al existir un desabastecimiento continuo en todos los meses con el área de captación existente se procede a incrementar el área de aporte (Ver Figura 10) a un rectángulo de 6 metros de largo por 4.3 metros de ancho con lo que se obtuvo un área de 28.1 m², y una pendiente de 3.5 % calculada mediante la ecuación 1, garantizando así que se encuentre

sobre el valor de pendiente mínima del 2 % en la techada de captación para poder generar escurrimiento hacia la canaleta.

$$\%S = \frac{0.21}{6} * 100 = 3.5 \%$$

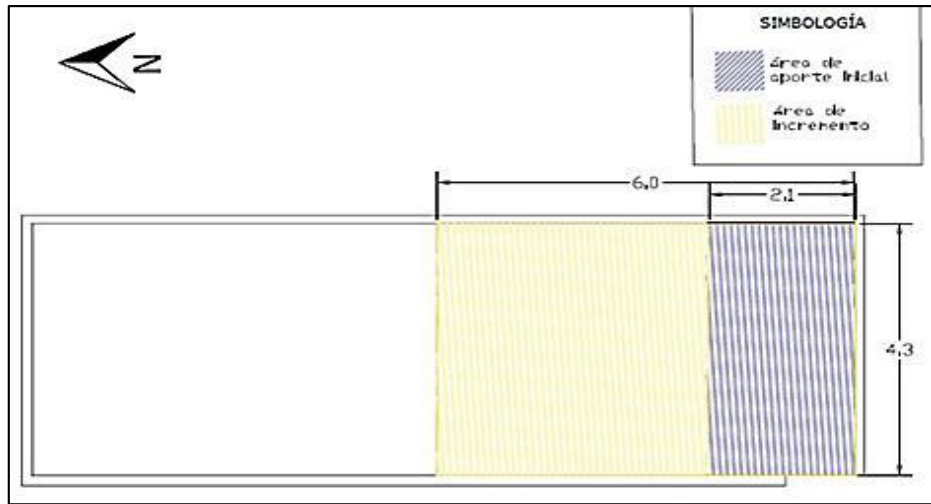


Figura 10. Incremento del área de aporte.

Se recalcula los volúmenes disponibles en base la nueva área como se muestra en la Tabla 12. El volumen disponible diario resulta ser aquel volumen de agua de lluvia disponible después de pasar por el interceptor de primeras aguas.

Tabla 12. Volumen disponible de agua lluvia incremento de área.

Mes	D	Ppi (mm)	Ce	Ac (m ²)	Ai (m ³ /mes)	Ai (m ³ /d)	Vint (m ³ /d)	Vd (m ³ /)
Enero	31	172.00	0.90	25.80	3.99	0.13	0.025	0.10
Febrero	28	185.90	0.90	25.80	4.32	0.15	0.025	0.13
Marzo	31	231.90	0.90	25.80	5.38	0.17	0.025	0.15
Abril	30	217.20	0.90	25.80	5.04	0.17	0.025	0.14
Mayo	31	170.50	0.90	25.80	3.96	0.13	0.025	0.10
Junio	30	62.00	0.90	25.80	1.44	0.05	0.025	0.02
Julio	31	40.70	0.90	25.80	0.95	0.03	0.025	0.01
Agosto	31	45.20	0.90	25.80	1.05	0.03	0.025	0.01
Septiembre	30	59.00	0.90	25.80	1.37	0.05	0.025	0.02
Octubre	31	149.50	0.90	25.80	3.47	0.11	0.025	0.09
Noviembre	30	140.40	0.90	25.80	3.26	0.11	0.025	0.08
Diciembre	31	145.40	0.90	25.80	3.38	0.11	0.025	0.08

3.2.2 Recolección y conducción

Mediante la aplicación de las ecuaciones 6, 7 y 8 se obtuvo el valor de caudal pluvial de $0.00068 \text{ m}^3/\text{s}$ en el área de captación propuesta. Para el tiempo de concentración se obtuvo 0.005 min tiempo esperado al tener una longitud pequeña, por lo que se toma el valor de 5 min para aplicarlos a la ecuación 7 y así obtener la intensidad de lluvia de 106.74 mm/h con un período de retorno de 5 años.

$$t = 0.000323 * \frac{6^{0.77}}{0.035^{0.385}} = 0.005 \text{ min}$$

$$I = 164.212 * 5^{0.1650} * 5^{-0.4326} = 106.74 \text{ mm/h}$$

$$Q_p = \frac{0.9 * 106.74 \text{ mm/h} * 0.00258 \text{ m}^2}{360} = 0.00068 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Para obtener el valor del caudal máximo que maneja la canaleta mediante las ecuaciones para la determinación del área y perímetro mojado para la obtención del radio hidráulico respectivamente. Se obtuvo un caudal de $0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ con una tubería de 4 pulgadas.

$$Q_{\text{máx}} = \frac{3.07 \text{ m}^3}{7200 \text{ s}} = 0.000426 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Como complemento, en base a la información obtenida de los anuarios meteorológicos del INAMHI en cuanto a la mayor precipitación esta tuvo lugar el 29 de marzo de 2009, con un valor de $84,5 \text{ mm}$ y durante de 2 horas, como resultado al aplicar la ecuación 10., se obtiene un caudal máximo de $0.0000426 \text{ m}^3/\text{s}$ que vendría a ser que el caudal que transporta la canaleta al producirse un evento máximo, que es menor al caudal pluvial obtenido ($Q_p < Q_{\text{máx}}$), por lo que, el diámetro de la canaleta es el conveniente para el valor de agua pluvial que será conducida.

El diámetro de la tubería de conducción obtenido mediante la ecuación 9 es de 1.38 pulgadas.

$$D = 1.548 \left(\frac{0.011 * 0.00068 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.035^{\frac{1}{2}}} \right)^{3/8} = 0.035 \text{ m} = 1.38 \text{ pulg}$$

Por lo que se adopta un diámetro comercial de 2 pulgadas considerando el cumplimiento de los criterios de diseño del bajante.

La velocidad de flujo del bajante que se obtuvo mediante la ecuación 16 es de 2.91 m/s, mientras que el caudal calculado con la ecuación 17 resultante es de 0.002 m³/s, la aplicación de las formulas se encuentra detallado a continuación:

$$V = \frac{1}{0.009} * \left(\frac{0.0508 \text{ m}}{12} \right)^{\frac{2}{3}} = 2.91 \text{ m/s}$$

$$Q_b = \frac{0.02 \text{ m}^2}{3} * 2.91 \text{ m/s} = 0.002 \text{ m}^3/\text{s}$$

Resulta que tanto el caudal que puede resistir tanto la canaleta como la bajante es de 0.002 m³/s, que comparado al caudal pluvial que realmente pasará por estos elementos es menor, no existirá riesgo de desfogue.

3.2.3 Interceptor de primeras aguas

Mediante la Ecuación 18 el volumen del tanque interceptor de primeras aguas es de 25.8 m³ en relación al área de captación por lo que se opta encontrar un tanque comercial de dimensiones 25,5 x 29 x 43 cm respectivamente, con un volumen de 25 Litros de, con el objetivo de evitar que dicho tanque almacene demasiada agua. A 10 cm de la Yee se coloca una válvula de bola de 2" permitiendo el paso controlado de agua al tanque. A la vez cuenta con una llave de desfogue de agua a 5 cm del fondo (Ver Figura 11), una vez lleno el tanque se vacía y el agua recolectada va al desfogue de aguas de la terraza.

$$V_{\text{int}} = \frac{1 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} * 25.8 \text{ m}^2}{1000} = 25.8 \text{ L} \approx 25 \text{ L}$$

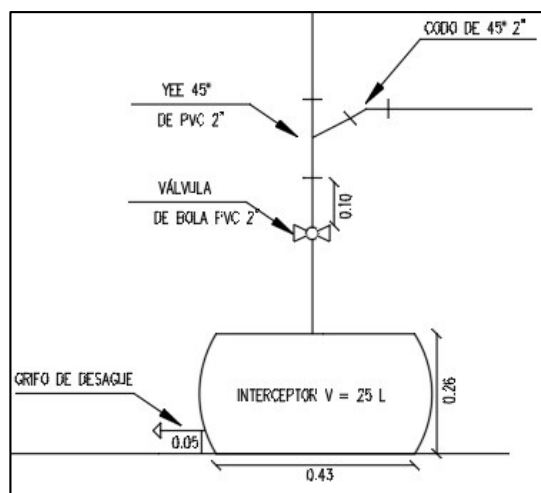


Figura 11. Sistema de tanque interceptor.

3.2.4 Filtros

- **Filtro de bajante**

Se opta por un filtro de malla de acero inoxidable (Figura 12) de dimensiones comerciales de 55 mm de diámetro y una altura de 30 mm. Dicho filtro tiene como objetivo el separar del agua que fluye a través del bajante de los residuos como hojas y material particulado.



Figura 12. Filtro del bajante.

- **Filtro de alta tasa**

El área del filtro calculada mediante la Ecuación 19 de 0.12 m^2 y un diámetro calculado con la Ecuación 20 de 0.39 m .

$$A = \frac{0.00068 \text{ m}^3/\text{s}}{480 \frac{\text{m}}{\text{d}} * \frac{1 \text{ d}}{86400 \text{ s}}} = 0.12 \text{ m}^2$$

$$D_f = \sqrt{\frac{4 * 0.12 \text{ m}^2}{\pi}} = 0.39 \text{ m}$$

Se elige un tanque para filtro comercial de 60 litros que cuenta con un diámetro cercano al obtenido de 0.37 m y una altura de 0.68 m . Con relación a las capas del medio filtrante se escoge 0.25 m de antracita, 0.20 de arena fina, 0.15 de grava y un borde libre sobrante de 0.08 m (Ver Figura 13).

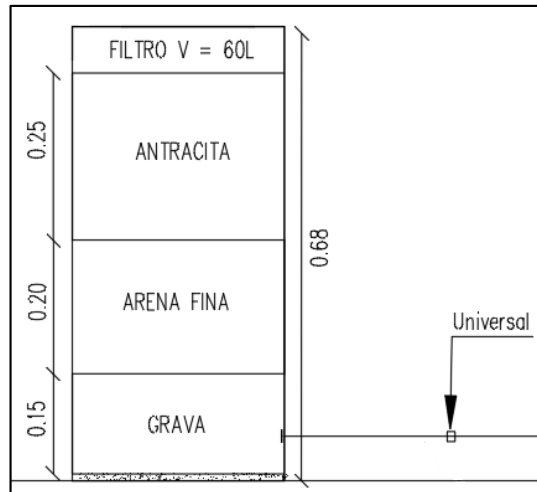


Figura 13. Filtro del sistema propuesto.

De acuerdo con las características del agua pluvial y la necesidad de un caudal constante para su utilización en el inodoro particularmente, se necesita un tiempo de duración de carrera corto por lo que dicho filtro resulta ser una mejor opción ya que el tiempo de carrera se encuentra entre las 12 a 36 horas con respecto a los filtros lentos de arena con tiempos de carrera que se encuentran entre 20 a 60 días, otra ventaja es que se logra un diseño más económico debido a que cuenta con requerimientos de área mucho menores que los filtros convencionales debido al uso de tasas de infiltración altas. [31]

Su funcionamiento se basa en la circulación del agua pluvial a baja velocidad a través de las capas de grava y arena, donde se dará un conjunto de procesos tanto físicos y como biológicos permitiendo así la remoción de las impurezas, al estar en contacto con las partículas presentes en el medio filtrante, las partículas más pesadas se sedimentan, mientras que las partículas más ligeras se aglutinan. Adicional cuenta con una universal para tener independencia en el sistema y así el mantenimiento sea más fácil y rápido al desconectarlo del tanque de almacenamiento.

Por lo menos cada 2 años se realizará el lavado completo del filtro de la siguiente manera: Retirar con mucho cuidado la antracita, la arena y la grava para no mezclarlas; lavar la antracita y la arena; cepillar las paredes del tanque; reacomodar el drenaje, y volver a colocar el lecho de antracita, arena y grava. Si ha habido pérdida de los lechos, será necesario reponerla. Si hay grietas en las paredes o en el fondo, deberán resanarse antes de colocar el lecho filtrante.

3.2.5 Tanque de almacenamiento

Para el tanque de almacenamiento se toma un valor medio de demanda diaria de 0.1 m³/día.

Tabla 13. Volumen del tanque de almacenamiento.

Mes	Di diaria (m ³ /diaria)	Volumen disponible (m ³ /día)	Diferencia	Volumen del tanque de almacenamiento m ³
Enero	0.10	0.10	0.00	0.143
Febrero	0.10	0.13	0.03	
Marzo	0.10	0.15	0.05	
Abril	0.10	0.14	0.04	
Mayo	0.10	0.10	0.00	
Junio	0.10	0.02	-0.08	
Julio	0.10	0.01	-0.10	
Agosto	0.10	0.01	-0.09	
Septiembre	0.10	0.02	-0.08	
Octubre	0.10	0.09	-0.01	
Noviembre	0.10	0.08	-0.02	
Diciembre	0.10	0.08	-0.02	

En la Tabla 13 se puede observar que con el incremento del área de aporte se obtiene un volumen de almacenamiento de 143 litros al tomar el volumen máximo tanto positivo como negativo de la diferencia entre oferta y demanda. De acuerdo con las características del fabricante se escogió un tanque de 250 litros, capacidad más próxima a la deseada que a su vez presupone algún evento fuera de las predicciones climáticas y cuenta con 100 litros más de almacenamiento. Este tanque de almacenamiento debe contar con una llave de desagüe (Ver Figura 14) si el agua supera su espacio de almacenado.

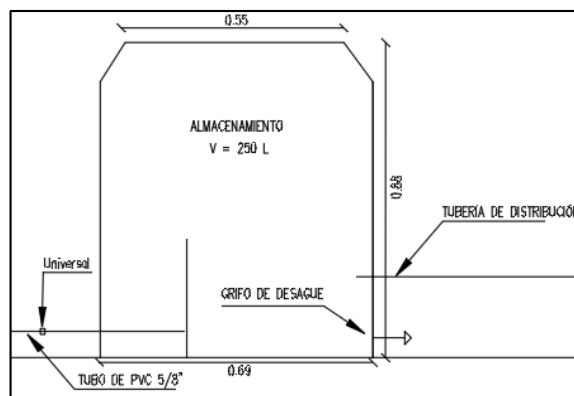


Figura 14. Dimensiones del tanque de almacenamiento.

Además, se observa que desde junio a septiembre existen valores negativos elevados, esto implica que puede existir un déficit de agua, coincidiendo con la época de verano en la ciudad de Quito, dependiendo de qué tan seguido se den las precipitaciones y de la intensidad de estas.

Cabe mencionar que el tanque de almacenamiento debe contar con un grifo de desagüe con el fin de retirar el agua excedente del mismo si se diera el caso.

3.2.6 Red de distribución

Los requisitos de diseño basados de la norma NEC-11 para la red de distribución en base a inodoro de tanque y grifo de manguera dan un caudal de diseño de obtenido mediante el uso de método de certeza total de 0.0003 m³/s y un diámetro comercial de 20 mm con el fin de asegurar una velocidad de diseño dentro de la norma misma que se encuentra en el rango entre 0.6 y 2.5 m/s calculada mediante la Ecuación 21.

$$V = \frac{0.0003 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (0.02 \text{ m})^2}{4}} = 0.95 \text{ m/s}$$

Pérdidas de carga en la distribución

En la Tabla 14 se observan las pérdidas de carga a lo largo de toda la distribución, aplicando la ecuación 22 se obtiene la pérdida de carga para el primer tramo.

$$h_f = 0.0054 * 2.3\text{m} * \frac{(0.95 \text{ m/s})^{1.75}}{0.02\text{m}^{1.25}} = 0.08 \text{ m. c. a}$$

Tabla 14. Pérdidas de carga en la distribución.

Pérdidas de carga		
Tramo	Longitud (m)	hf (m.c.a)
1	2.30	0.08
2	2.44	0.09
3	1.39	0.05
4	2.89	0.11
5	0.60	0.02
6	2.29	0.08
7	4.28	0.16
8	0.30	0.01
9	0.20	0.01
Total		0.61

Aplicando la ecuación 23 se tiene un total de pérdidas por accesorios de 7.78 m.c.a. como ejemplo se muestra el cálculo para el codo de 90°, mientras que en la Tabla 15 se puede observar el tipo accesorios, cantidad, factor y pérdida de carga correspondiente.

$$h_{CM} = 1.10 * \frac{\left(1.5 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 2.85 \text{ m. c. a}$$

Tabla 15. Pérdidas por accesorios en la distribución.

Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	k	h_{CM}
Codo de 90°	6	1.10	2.85
Tee	2	0.70	0.60
Válvula de paso	2	10.00	4.32
Total		7.78	7.78

Por tanto, mediante la suma de las pérdidas por fricción y las pérdidas por accesorios se tiene un total de pérdidas 8.39 m.c.a., las cuales se encuentran por debajo de las pérdidas permitidas de 15 m.c.a.

En el Anexo III se presenta la vista isométrica del sistema de distribución misma que cuenta con el detalle de la conexión de la tubería de distribución hasta la toma del inodoro y del grifo para manguera.

El control de la derivación mediante válvulas de paso en la red de distribución de agua lluvia y potable se da mediante tuberías unidas a la conexión del inodoro mediante una tee de ½ pulgadas, cuentan con una válvula de paso cada una (ver Figura 15). La válvula de paso de agua potable permanece cerrada cuando exista agua suficiente para cubrir la demanda de agua, dado el caso que no haya agua lluvia almacenada se cierra la válvula de paso de agua lluvia y se abre la válvula de paso de la red de agua potable permitiendo así un suministro continuo.

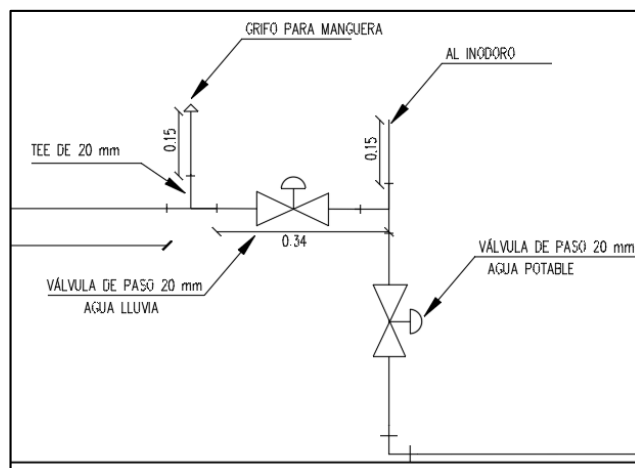


Figura 15. Conexión combinada

3.3 Presupuesto del sistema

Se estableció un presupuesto referencial para la implementación del sistema en la residencia como se muestra en la Tabla 16. El costo total se divide en función de cada subsistema. En cuanto al subsistema de captación comprende la estructura metálica, láminas de zinc, elementos complementarios y mano de obra, mientras que para los sistemas restantes se toma en cuenta tuberías, accesorios, tanques. Este proyecto está orientado a la construcción desde cero del sistema. Los precios establecidos son precios referenciales encontrados en línea por proveedores como Plastigama, Rotoplas, Kiwi, Mercado Libre, entre otras que se encuentran especificadas en el Anexo II.III. Con un total de presupuesto de \$ 509.71. Se observa que el subsistema de captación tiene el mayor valor de inversión con un total \$ 299.00, mientras que para el resto de subsistemas se tiene un valor de \$ 210.61.

Tabla 16. Presupuesto referencial del sistema.

SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA INODORO Y GRIFO DE MANGUERA				
Sistema	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
Captación	Zinc	12	\$ 8.75	\$ 105.00
	Tubos metálicos (40*40*2 mm) de 6 m	8	\$ 17.00	\$ 136.00
	Pintura + Tiñer	1	\$ 8.00	\$ 8.00
	Mano de obra	1	\$ 50.00	\$ 50.00
Conducción	Tubería de 4 " 3 m	1	\$ 21.00	\$ 21.00
	Tubería de 2 " 3 m	1	\$ 10.00	\$ 10.00
	Reducción 4"-2"	1	\$ 1.50	\$ 1.50
Interceptor	Válvula de bola	1	\$ 4.65	\$ 4.65

Continuación Tabla 16.

Filtro	Yee de 2 "	1	\$ 2.28	\$ 2.28
	Codo de 45 "	1	\$ 1.48	\$ 1.48
	Tanque de 25 L	1	\$ 11.00	\$ 11.00
	Filtro de bajante	1	\$ 2.50	\$ 2.50
	Malla delgada	1	\$ 0.25	\$ 0.25
Almacenamiento	Tanque de 60 L	1	\$ 28.80	\$ 28.80
	Universal 3/4"	1	\$ 1.12	\$ 1.12
	Tanque de 250 L	1	\$ 53.03	\$ 53.03
Distribución	Tubería 3/4" 5 m	4	\$ 13.00	\$ 52.00
	Codo de 90° de 3/4"	7	\$ 0.50	\$ 3.50
	Tee de 3/4"	2	\$ 0.50	\$ 1.00
	Válvula de paso	2	\$ 3.00	\$ 6.00
	Grifo de 3/4"	1	\$ 10.50	\$ 10.50
			Total	\$ 509.61

4 CONCLUSIONES

- La estación que se escogió para determinar la oferta de agua en la residencia fue la estación Izobamba, en la cual se logró encontrar un valor de 231.9 mm/mes de precipitación media mayor correspondiente al mes marzo y una precipitación media menor de 40.7 mm/mes correspondiente al mes de julio. En cuanto a la demanda se obtuvo un valor de 0.1 m³/día correspondiente a la sumatoria de la demanda de inodoros y limpieza de exteriores.
- Con respecto al volumen de agua procedente de la lluvia captada (oferta) y la demanda de agua total, se determinó que, en los meses desde junio a septiembre correspondientes al temporal seco del año, se producirá un déficit en el abastecimiento sanitario, por lo que es necesario combinar el sistema de agua lluvia con el sistema de agua potable, esto debido a que, aunque las precipitaciones son abundantes en el sur del DMQ, estas no son equitativas y así no podrá satisfacer la demanda todo el año.
- En base a la abundancia de precipitaciones, se obtuvo 37.6 m³ anuales de agua pluvial recolectada, requiriendo un tanque de 250 L ofertado en mercado, con capacidad suficiente para el abastecimiento de un inodoro y un grifo para exteriores usado una vez por semana, exceptuando los meses desde junio a septiembre.
- Una desventaja de la utilización de sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales yace en que estos sistemas dependen de manera directamente proporcional a la precipitación, es decir, a la temporada de lluvia y de la intensidad de las mismas, en consecuencia en épocas de sequía podrían resultar muy

rentables, sin embargo, continúan siendo una gran alternativa al ser combinadas con la red de agua potable mediante el control de la derivación con válvulas de paso instaladas para la red de agua pluvial y la red de agua potable respectivamente. La válvula de paso de la red de agua potable permanecerá cerrada mientras exista la dotación suficiente proveniente del agua lluvia.

- Se realizó la propuesta de diseño del sistema de distribución de aguas lluvia en base a la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-11, Cap. 16, siendo el diámetro comercial de tubería de 3/4 pulgadas con una velocidad de diseño de 0.95 m/s, valor que se dentro de los valores máximos y mínimos establecidos por la norma.
- Se elaboró el presupuesto referencial con precios propuestos en línea, correspondiendo a un valor de \$ 509.71, si es sistema se lo realizará desde cero, sin embargo, se debe tener en cuenta que los precios establecidos pueden variar debido al mercado. A pesar de la inversión inicial que se debe realizar para la implantación de la propuesta, esta se ve compensada con el beneficio ambiental evitando que el agua pluvial sea desperdiciada y a su vez se reducirá el pago del suministro de agua potable en los meses de verano.
- Se redactó una memoria técnica de la propuesta del sistema de aprovechamiento de agua lluvia (Anexo IV) en la cual se encuentra a modo resumen el detalle de diseño, cuenta con los apartados: introducción, alcance, justificación, objetivo general, normativa, metodología, resultados, conclusiones y recomendaciones.

5 RECOMENDACIONES

- Realizar la implementación del sistema de aprovechamiento de agua lluvia en los meses en los que exista mayor precipitación más (marzo- abril), para contar con el agua suficiente para cubrir con la demanda y poder tener una reserva para los meses que presentan déficit de abastecimiento.
- Realizar la limpieza del filtro en el inicio como en el final de la temporada lluviosa con el fin de evitar la acumulación de material sólido grueso (hojarasca, mosquitos y basura) y material fino en el filtro de protección del sistema.
- De acuerdo a las recomendaciones del fabricante se deberá realizar el mantenimiento tanto del tanque interceptor de primeras aguas y como del tanque almacenamiento cada 6 meses.

- Colocar una llave de desfogue en el tanque de primeras aguas para una fácil la evacuación del agua de lavado de la techada, al momento de efectuar la limpieza dicho tanque.
- En un futuro para que el sistema funcione de forma automatizada puede implementarse un sistema bypass en la conexión combinada de agua potable y agua pluvial mediante un circuito neumático con válvulas OR (válvulas selectoras).

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ONU, «Organización de las Naciones Unidas,» 2020. [En línea]. Available: <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484732>
- [2] R. Torres, «La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente,» 2019. [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000200125
- [3] C. Solano, F. Gonzaga, F. Espinoza y J. Espinosa. «Sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico,» 2017. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6550736.pdf+&cd=4&hl=es&ct=clnk&gl=ec>
- [4] Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, 2014. [En línea]. Available: <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>
- [5] R. Tuesca. «Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano,» 2015. [En línea].
- [6] USFQ, «Atlas ambiental del Distrito Metropolitano de Quito,» 2008. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/37483146/Atlas_Ambiental
- [7] EPMAPS, «Plan de negocios, expansión e inversión de la EPMAPS,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.aguaquito.gob.ec/Alojamientos/Transparencia/K%202021/PLAN%20DE%20NEGOCIOS%202021.pdf>
- [8] EPMAPS, «Plan de negocios EPMAPS,» 2015. [En línea]. Available: https://www.aguaquito.gob.ec/sites/default/files/documentos/pai_epmaps_2015.pdf
- [9] EPMAPS, «Memoria de Sostenibilidad,» 2014. [En línea]. Available: https://www.aguaquito.gob.ec/downloads/InformesGestion/memoria_de_sostenibilidad_epmaps_2014-3.pdf
- [10] Museo del Agua Yakú, «Yakuyay,» 2011. [En línea]. Available: <https://yakumuseoagua.gob.ec/>
- [11] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Norma Ecuatoriana De Construcción, NTE INEN 1571,» 2011 [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1571-2.pdf>

- [12] F. Sánchez, «Precipitaciones,» 2017. [En línea]. Available: <https://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>
- [13] USFQ, «Atlas ambiental del Distrito Metropolitano de Quito,» 2015. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/37483146/Atlas_Ambiental
- [14] CISPDR, «Plan Nacional de la Gestión Integrada e Integral de los Recursos Hídricos de las cuencas y microcuencas hidrográficas de Ecuador,» 2016. [En línea]. Available: <http://suia.ambiente.gob.ec/files/MEMORIA%20PLAN%20NACIONAL%20DEL%20AGUA.pdf>
- [15] B, Helmreich y H, Horn, «Opportunities in rainwater harvesting. Desalinization, 248, 118-124.,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v20n50/v20n50a10.pdf>
- [16] INECC, «Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático,» 2014. [En línea]. Available: <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/informes/Informe2014.pdf>
- [17] R. Moreira, M. Lúcia, L. Castro y A. Fonseca, «Rainwater treatment in airports using slow sand filtration followed by chlorination: Efficiency and costs. Resources, Conservation and Recycling,» 2012, 65, 124–129.
- [18] D. Acuña y D. Robles, «Manual de meteorología y de gestión de la información climática,» 2015. [En línea]. Available: https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00N1N1.pdf
- [19] S. Peralta, «Evaluación de configuraciones de parametrización física para la simulación numérica de temperatura y lluvia en el Ecuador,» 2016. [En línea]. Available: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5704/1/126410.pdf>
- [20] CEPIS, «Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales,» 2004. [En línea]. Available: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/AGUERO%202004.%20Gu%C3%ADa%20de%20dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20captaci%C3%B3n%20de%20manantiales.pdf
- [21] IRRI, «Instituto Internacional de Recursos Renovables,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.irrimexico.org/agua/como-funciona-nuestro-sistema/>
- [22] CONAGUA, «Lineamientos técnicos: sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda,» [En línea]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152776/LINEAMIENTOS_CAPTACION_PLUVIAL.pdf

- [23] ARAUCO, «Cubierta Techo,» 2015. [En línea]. Available: https://www.araucosoluciones.com/_file/07_15955_foll-web_construccion_cubierta_techo_mexco_01_sep_15_1792.pdf
- [24] INAHMI, «Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología,» 2022. [En línea]. Available: <http://186.42.174.236/InamhiEmas/>
- [25] INAHMI, «Determinación de Ecuaciones de Cálculo de Intensidades Máximas de Precipitación,» 2015. [En línea]. Available: https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_FINAL.pdf
- [26] I. Cardenas y E. Reinoso, «Diseño y construcción de un prototipo de aprovechamiento de agua lluvia para el abastecimiento sanitario en viviendas ubicadas al sur de quito mediante bombeo,» 2020. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21201/1/CD%2010718.pdf>
- [27] Ingeniería Civil, «Determinación de caudales máximos con el método racional,» 2012. [En línea]. Available: <https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/determinacion-de-caudales-maximos-con-el-metodo-racional/>
- [28] G. Sotelo, *Hidráulica General Vol.1 Fundamentos*, 15ª ed. México DF: Limusa S.A. 1994.
- [29] M. Ruiz, «Instalaciones Sanitarias en Edificios.,» 2008. [En línea]. Available: <https://dl-manual.com/doc/manual-de-instalacioes-hidosanitarias-go3dqnpqy5v8>
- [30] CEPIS, «Especificaciones técnicas. Captación de agua lluvia para consumo humano,» 2003. [En línea]. Available: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/investigacion-y-tecnologia-en-salud/inventarios/inventario-tecn-de-agua-de-consumo-humano/captacion-de-agua-para-consumo-humano/captando-agua-de-la-lluvia/documento-tecnico-1/1836-captacion-de-agua-de-lluvia-para-consumo-humano/file>
- [31] J. Romero, *Potabilización del agua*, 3ª ed. México DF: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. 1999.

ANEXOS

ANEXO I TURNITIN

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Quito, D.M. 23 de febrero de 2022

De mi consideración:

Yo, PATRICIA PANCHI JIMA, en calidad de Directora del Trabajo de Integración Curricular titulado: DESARROLLO DE LA PROPUESTA TÉCNICA DE UN SISTEMA PARA REUTILIZACIÓN DEL AGUA LLUVIA EN DESCARGA DE INODOROS Y LIMPIEZA DE EXTERIORES, asociado al proyecto: SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA EN UNA RESIDENCIA FAMILIAR UBICADA EN LA CIUDAD DE QUITO, DMQ, elaborado por la estudiante KARLA MICHELLE LÓPEZ TORRES de la carrera en TECNOLOGÍA SUPERIOR EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL, certifico que he empleado la herramienta Turnitin para la revisión de originalidad del documento escrito completo, producto del Trabajo de Integración Curricular indicado.

El documento escrito tiene un índice de similitud del 7 %.

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

Docente

Escuela de Formación de Tecnólogos

Revisión Turnitin Final_López

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	2%
2	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
3	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
4	Submitted to International Baccalaureate Trabajo del estudiante	<1%
5	qdoc.tips Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to tec Trabajo del estudiante	<1%
7	www.gadmpuyango.gob.ec Fuente de Internet	<1%
8	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universidad Catolica De Cuenca Trabajo del estudiante	<1%

ANEXO II DATOS EXTENSOS

Anexo II.I Precipitación anual y mensual de la estación Izobamba 2008 – 2018 (mm).

PRECIPITACIÓN ANUAL Y MENSUAL DE LA ESTACIÓN IZOBAMBA (M0003) 2008-2018 (mm)													
AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
2008	246.6	247.5	263.5	257	216.4	111.5	28.5	96.7	103.1	199.5	108	126	2004.3
2009	295.4	186.6	262.4	189.9	102.8	48.2	7.1	29.0	9.7	86.4	88.8	209.9	1516.2
2010	45.6	103.7	114.2	189.2	149.2	100.4	196.2	52.5	79.5	89.7	249.4	304.8	1774.4
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
2012	254.3	227.3	197.4	219.3	64.9	10.6	19.8	20.0	20.5	167.0	169.0	30.5	1400.6
2013	43.7	230.5	128.1	101.9	239.0	9.8	8.3	43.5	38.9	191.5	45.9	79.6	1160.7
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	1393.0
2015	94.9	78.9	233.3	152.2	102.4	10.6	30.0	6.6	21.4	118.2	193.4	49.7	1091.6
2016	166.6	103.7	185.2	318.7	131.4	44.3	18.4	10.6	82.0	110.9	28.9	193.3	1394.0
2017	171.3	170.6	331.1	163.5	227.7	149.7	5.1	42.1	53.8	113.0	124.4	170.4	1722.7
2018	84.9	181.3	217.4	176.1	191.5	30.2	12.0	23.9	45.4	89.1	253.1	44.7	1349.6
TOTAL	1719.5	1858.8	2318.6	2171.8	1705	620	407.3	451.5	589.7	1495	1404.1	1453.6	

Anexo II.II Factor k de pérdidas por accesorios según el diámetro nominal

DIÁMETRO NOMINAL		20	25	32	40	50	63	75	90	110	160	200
PÉRDIDAS DE CARGA		(m)										
TEE		0.70	0.80	0.90	1.50	2.20	2.30	2.40	2.50	2.60	3.60	5.00
CODO 90°		1.10	1.20	1.50	2.00	3.20	3.40	3.70	3.90	4.30	5.40	5.50
CODO 45°		0.40	0.50	0.70	1.00	1.30	1.50	1.70	1.80	1.90	2.60	3.50
CODO 90° L/R		0.40	0.50	0.60	0.70	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	2.10	2.60
CODO 45° L/R		0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.20	1.40
VÁLVULA CHECK		2.50	2.70	3.80	4.90	6.80	7.10	8.20	9.30	10.40	13.90	17.60
VÁLVULA DE BOLA		11.10	11.40	15.00	22.00	35.80	37.90	38.00	40.00	42.30	56.70	72.10
VÁLVULA DE COMPUERTA		0.10	0.20	0.30	0.40	0.70	0.80	0.90	0.90	1.00	1.20	1.40

Pieza, conexión o dispositivo	K_f
Rejilla de entrada	0.80
Válvula de pie	3.00
Entrada cuadrada	0.50
Entrada abocinada	0.10
Entrada de borda o reentrada	1.00
Ampliación gradual	0.30
Ampliación brusca	0.20
Reducción gradual	0.25
Reducción brusca	0.35
Codo corto de 90°	0.90
Codo corto de 45°	0.40
Codo largo de 90°	0.40
Codo largo de 45°	0.20
Codo largo de 22° 30'	0.10
Tee con flujo en línea recta	0.10
Tee con flujo en ángulo	1.50
Tee con salida bilateral	1.80
Válvula de compuerta abierta	5.00
Válvula de ángulo abierta	5.00
Válvula de globo abierta	10.0
Válvula alfalfera	2.00
Válvula de retención	2.50
Boquillas	2.75
Controlador de gasto	2.50
Medidor Venturi	2.50
Confluencia	0.40
Bifurcación	0.10
Pequeña derivación	0.03
Válvula de mariposa abierta	0.24

Anexo II.III Referencias de materiales

Tuberías PVC

ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC (U)

Especificaciones para Tuberías con Unión por sellado elastomérico (UZ) y Unión por cementado solvente (EC) para riego.

Diámetro Nominal (mm)		Diámetro Interior mm	Espesor Nominal mm	Presión de Trabajo		
UNIÓN U/Z	UNIÓN E/C			MPa	PSI (lb/pulg ²)	Kgf/cm ²
	20	17.8	1.1	1.25	181	12.75
		16.8	1.6	2.00	290	20.40
	25	22.8	1.1	1.00	145	10.20
		21.8	1.6	1.60	232	16.32
	32	29.8	1.1	0.80	116	8.16
		28.8	1.6	1.25	181	12.75
	40	37.8	1.1	0.63	91	6.43
		36.8	1.6	1.00	145	10.20
		36.0	2.0	1.25	181	12.75
50		47.4	1.3	0.63	91	6.43
		46.8	1.6	0.80	116	8.16
		46.0	2.0	1.00	145	10.20
		45.0	2.5	1.25	181	12.75
63		59.8	1.6	0.63	91	6.43
		58.8	2.1	0.80	116	8.16
		58.0	2.5	1.00	145	10.20
		56.8	3.1	1.25	181	12.75
75		72.0	1.5	0.50	73	5.10
		71.2	1.9	0.63	91	6.43
		70.2	2.4	0.80	116	8.16
		69.0	3.0	1.00	145	10.20
		67.6	3.7	1.25	181	12.75
90		86.4	1.8	0.50	73	5.10
		85.4	2.3	0.63	91	6.43
		84.2	2.9	0.80	116	8.16
		82.8	3.6	1.00	145	10.20
		81.2	4.4	1.25	181	12.75
110		105.6	2.2	0.50	73	5.10
		104.6	2.7	0.63	91	6.43
		103.2	3.4	0.80	116	8.16
		101.6	4.2	1.00	145	10.20
		99.6	5.2	1.25	181	12.75
140		134.4	2.8	0.50	73	5.10
		133.2	3.4	0.63	91	6.43
		131.4	4.3	0.80	116	8.16

Tanques

Tanque de almacenamiento

- Hermético, tapa de traba con seguro giratorio.



Capacidad litros	A	B	H
	mm	mm	mm
250	550	695	880
500	550	860	1165
600	550	871	1215
1100	550	1120	1465
2500	550	1568	1520

Tanque interceptor de primeras aguas

SoloStocks



Jerrican con grifo 25L

✓ Sunbox

Ideal para uso en cámpings para almacenar agua potable. Dimensiones: 255 x 290 x 430 mm. Diámetro boca: 48 mm. (largo x ancho x alto) Apilable. Forma rectangular. Apto para uso alimentario...

Tanque para filtro

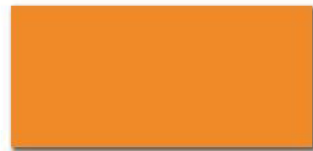


Accesorios

LINEA CONSTRUCCION					TUBOSISTEMAS PLASTIGAMA BY ARANKO	
ADAPTADOR PARA TANQUES		CODO 45°		CODO 90°		
	Diámetro: 1/2" 3/4" 1" 1 1/2" 2"		Diámetro: 1/2" 3/4" 1" 1 1/2"		Diámetro: 1/2" 3/4" 1" 1 1/4" 1 1/2" 2"	
CODO REDUCTOR		BIJUE REDUCTOR		TAPON HEMBRA		
	Diámetro: 3/4" x 1/2" 1" x 3/4"		Diámetro: 3/4" x 1/2" 1 1/2" x 1/2" 1" x 1/2" 1 1/2" x 3/4" 1" x 3/4" 1 1/2" x 1/2" 1 1/4" x 1" 2" x 1 1/2" 1 1/4" x 3/4" 2" x 1" 1 1/2" x 1"		Diámetro: 1/2" 3/4" 1" 1 1/2"	
TAPON MACHO		TEE		TEE REDUCTORA		
	Diámetro: 1/2" 3/4" 1" 1 1/2"		Diámetro: 1/2" 3/4" 1" 1 1/4" 1 1/2"		Diámetro: 5/8" x 1/2" 1" x 3/4" 1 1/2" x 3/4"	
UNION		UNION REDUCTORA		UNION UNIVERSAL		
	Diámetro: 1/2" 3/4" 1" 1 1/4" 1 1/2" 2"		Diámetro: 3/4" x 1/2" 1" x 3/4"		Diámetro: 1/2" 3/4" 1" 1 1/4" 1 1/2" 2"	
NEPLO CON TUERCA		VALVULA DE BOLA		CINTA TEFLON		
	Diámetro: 1/2" 3/4" 1" 1 1/2"		Desarrollo: 1/2" 3/4" 1" 1 1/4" 1 1/2" 2"		Desarrollo: 12 mm x 10 m	
TARRAJA RSPT		TIJERA CORTA TUBO		BOMBA DE PRUEBA PORTÁTIL		
	1/2" 3/4" 1"		Para cortar de tuberías desde 1/2" hasta 1"		Para pruebas hidráulicas e tuberías de presión. Capacidad máxima hasta 750 psi.	

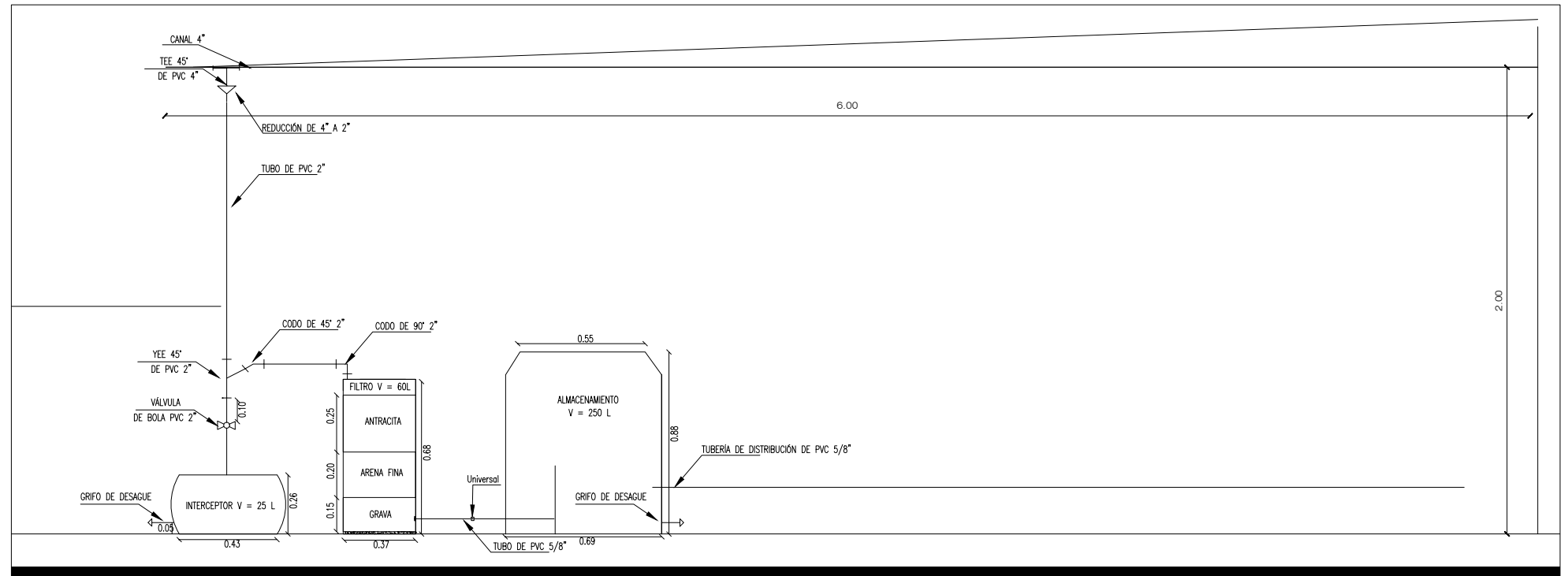
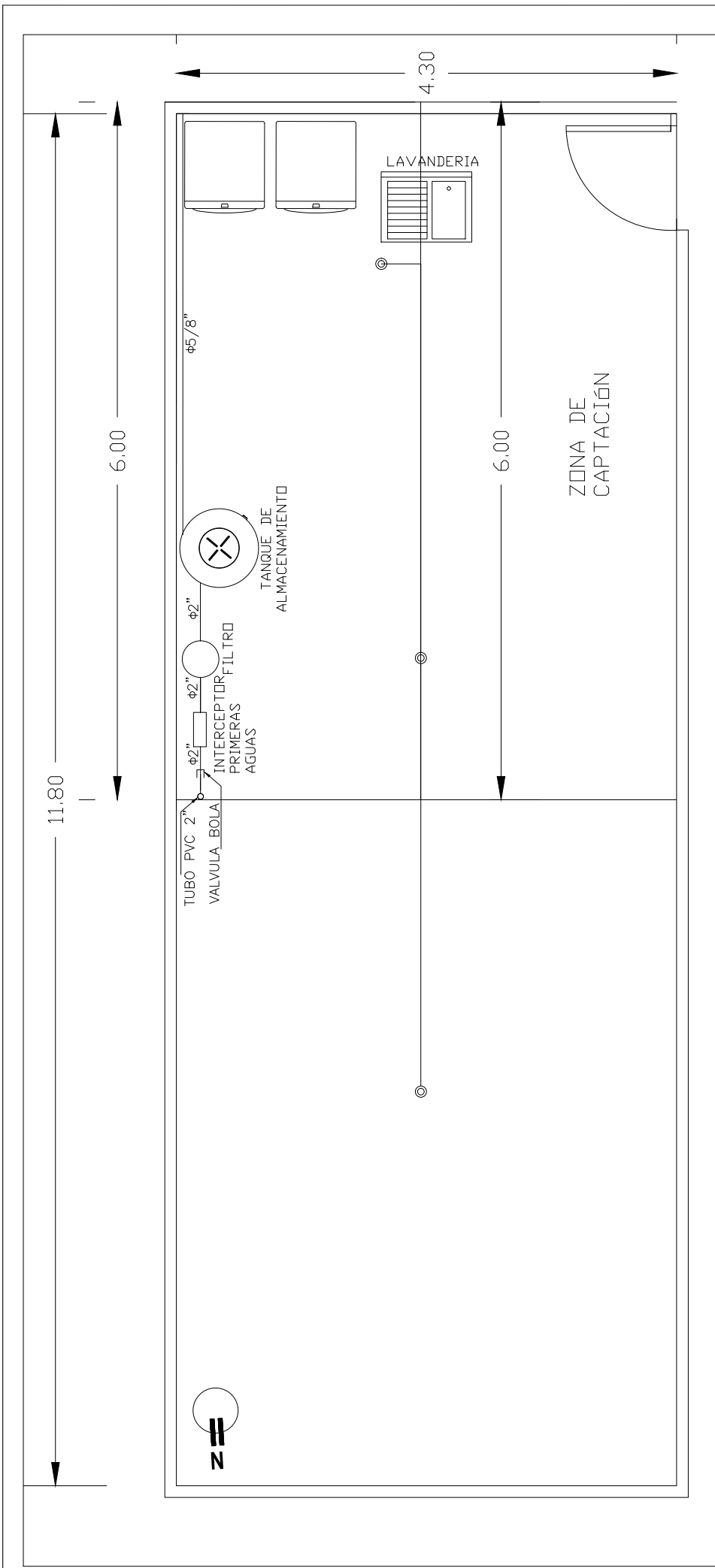


CODO 45°  DIAMETRO 50mm, 75mm 110mm, 160mm 200mm, 250mm 315mm, 400mm	CODO 90°  DIAMETRO 50mm, 75mm 110mm, 160mm 200mm, 250mm 315mm, 400mm	CODO 90° RAMAL DE VENTILACIÓN  DIAMETRO 110mm x 50mm x 90°	TEE CON REGISTRO  DIAMETRO 110mm	
TEE  DIAMETRO 75mm 110mm 160mm 200mm	TEE REDUCTORA  DIAMETRO 75mm x 50mm 110mm x 75mm 160mm x 110mm	TEE CON RAMAL DE VENTILACIÓN  DIAMETRO 110mm	YEE DOBLE  DIAMETRO 50mm 75mm 110mm	YEE  DIAMETRO 50mm 75mm 110mm 160mm 200mm
YEE REDUCTORA  DIAMETRO 75mm x 50mm 110mm x 50mm 110mm x 75mm 160mm x 110mm	REDUCTOR  DIAMETRO	CRUZ  DIAMETRO 50mm 75mm 110mm	U CON REGISTRO  DIAMETRO 50mm	U SIN REGISTRO  DIAMETRO 50mm 75mm 110mm
SIFÓN  DIAMETRO 50mm 75mm 110mm	JUNTA DE EXPANSIÓN  DIAMETRO 50mm 75mm 110mm 160mm	SOMBRERO PARA VENTILACIÓN  DIAMETRO 50mm	SOMBRERO PARA VENTILACIÓN  DIAMETRO 110mm	ADAPTADOR DE LIMPIEZA  DIAMETRO 50mm 75mm 110mm 160mm
UNIÓN  DIAMETRO 50mm 75mm 110mm 160mm 200mm	REJILLA DESCARGA VERTICAL Y HORIZONTAL  DIAMETRO 110mm	TAPÓN HEMBRA  DIAMETRO 50mm 75mm 110mm 160mm 200mm	TAPÓN MACHO  DIAMETRO 50mm 75mm 110mm 160mm 200mm	BUJE REDUCTOR  DIAMETRO 75mm a 50mm 110mm a 50mm 110mm a 75mm 160mm a 110mm
 DIAMETRO 50mm 75mm 110mm 160mm 200mm	 DIAMETRO 110mm	 CAPACIDAD 125 cc 1000 cc Galón	 CAPACIDAD	 CAPACIDAD 200 cc 946 cc 3785 cc



PLASTIGAMA

ANEXO III PLANOS

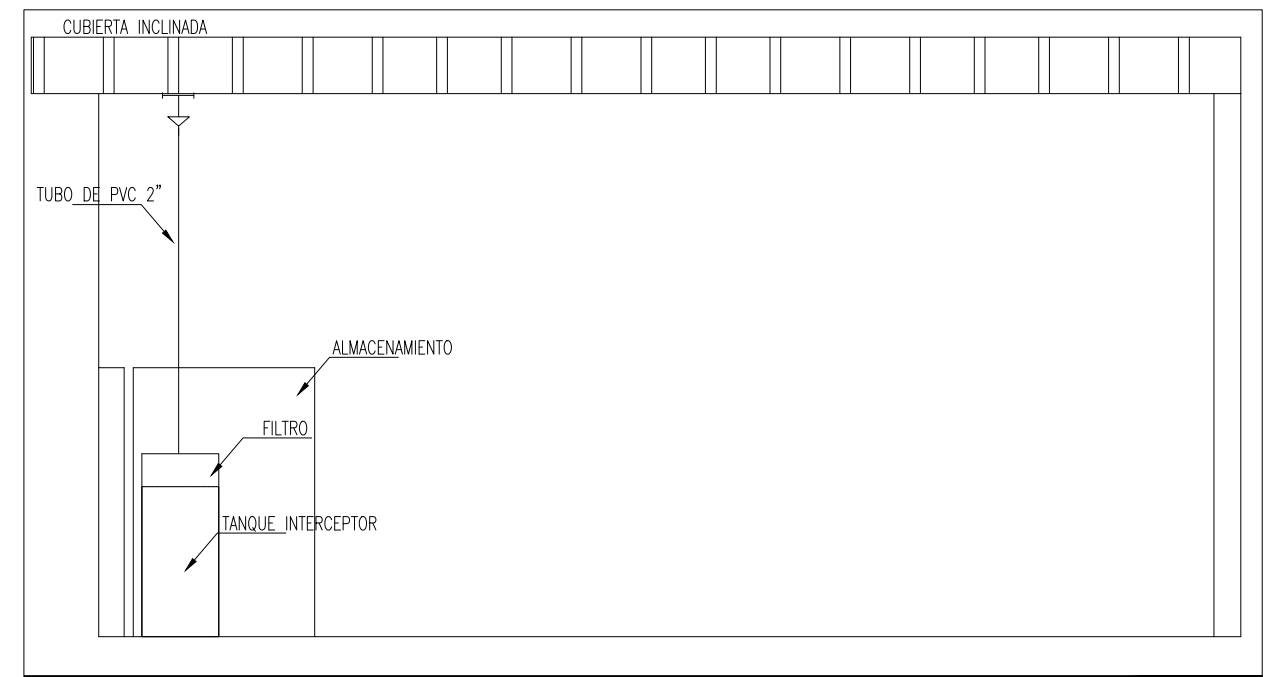


2 VISTA LATERAL SISTEMA
ESCALA 1:30

3 VISTA FRONTAL SISTEMA
ESCALA 1:30

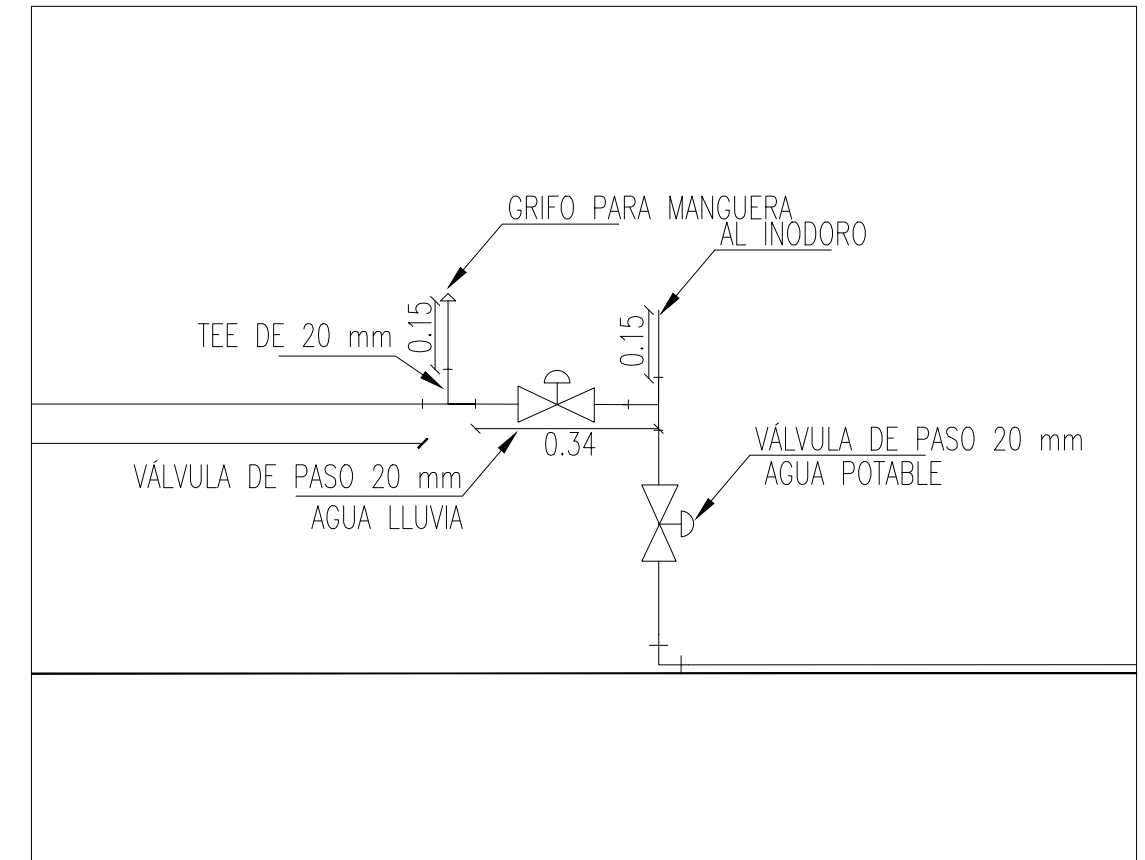
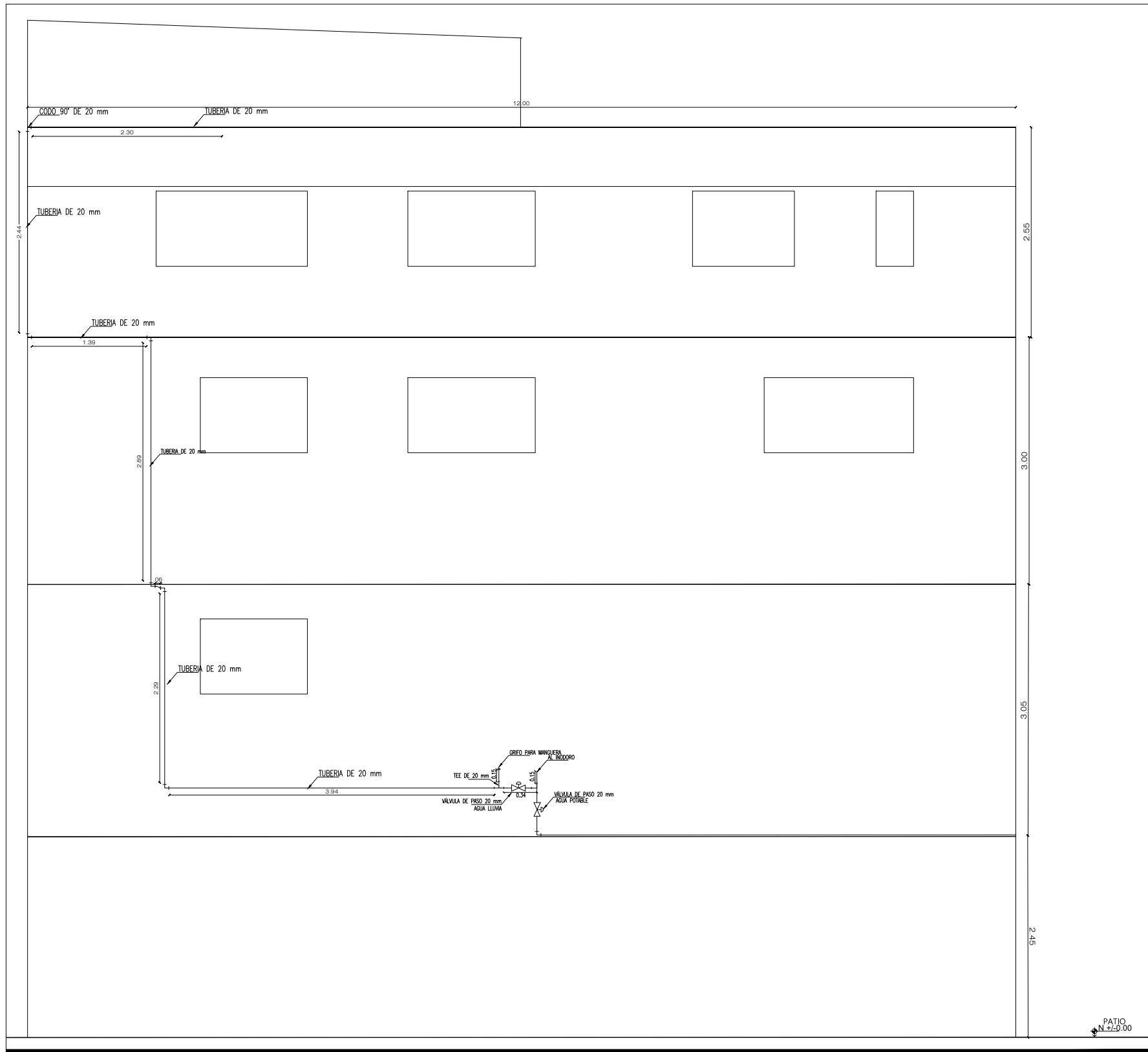
SIMBOLOGÍA / NOMENCLATURA	
	TEE CONEXIÓN
	REDUCCIÓN
	YEE CONEXIÓN
	CODO DE 45°
	CODO DE 90°
	VÁLVULA DE BOLA

1 PLANTA SISTEMA
ESCALA 1:50



UNIDADES	DIBUJADO	Karla Michelle López Torres
m	REVISADO	Ing. Patricia Panchi
ESCALA	FECHA	21/01/2022
INDICADA	SUBSISTEMAS DE CAPTACIÓN – COLECCIÓN – FILTRACIÓN – ALMACENAMIENTO (VISTA EN PLANTA, FRONTAL Y LATERAL)	
TEMA		





② **DETALLE CONEXIÓN**
ESCALA: 1:12.5

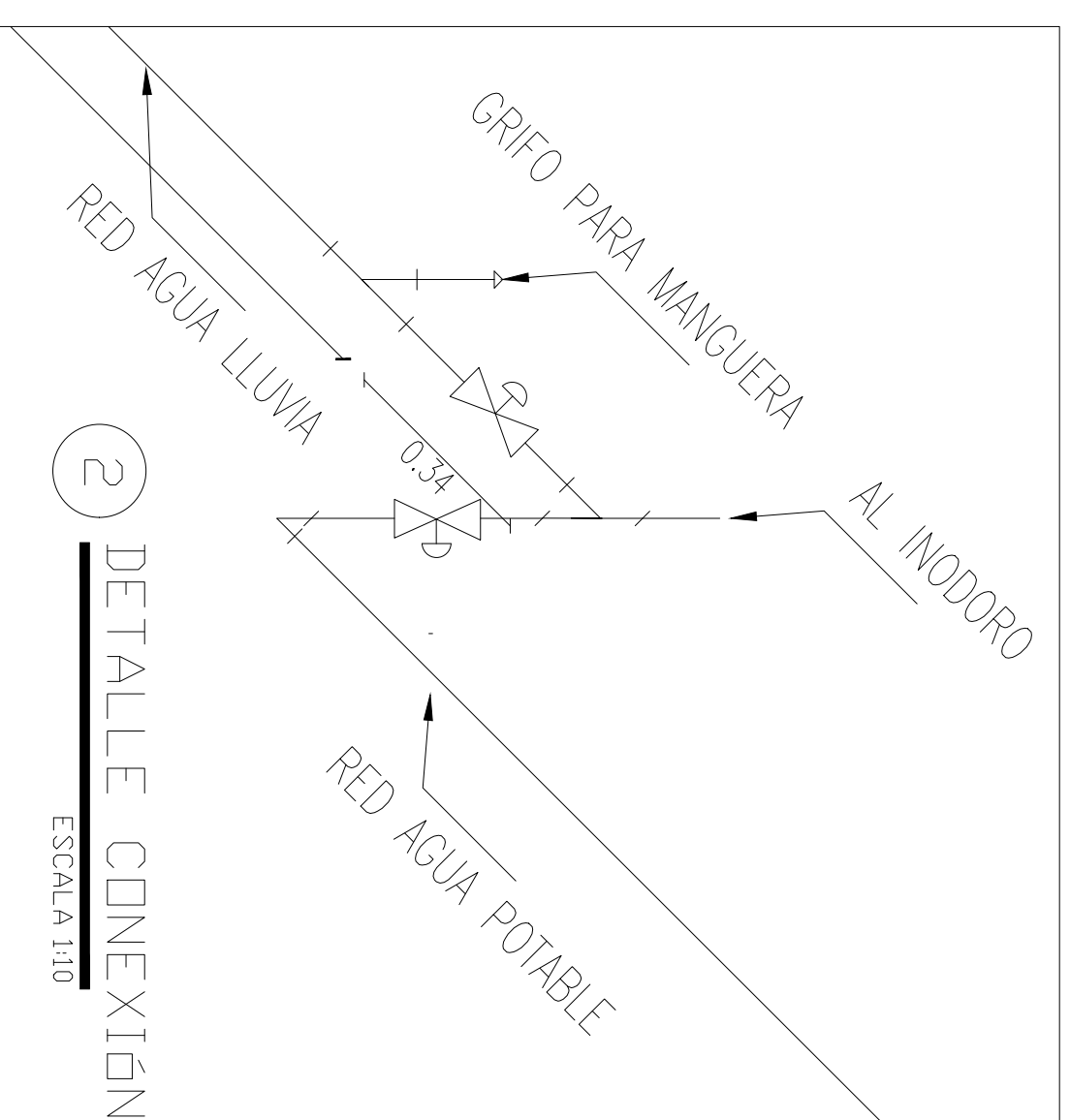
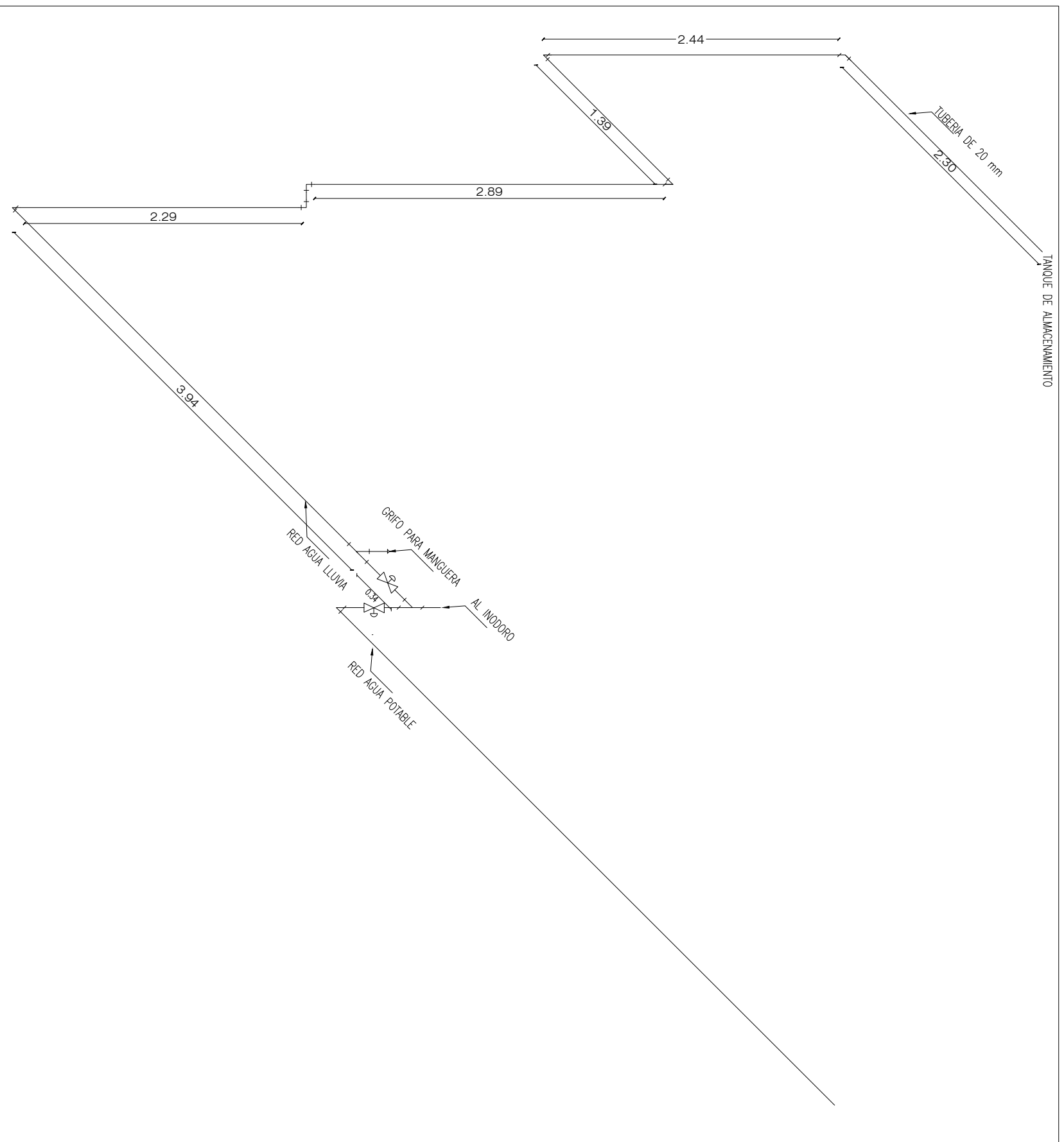
SIMBOLOGÍA / NOMENCLATURA	
	TEE CONEXIÓN
	CODO DE 90°
	VÁLVULA DE BOLA
	TUBERÍA AGUA LLUVIA
	TUBERÍA AGUA POTABLE

① **FACHADA FRONTAL**
ESCALA 1:75

UNIDADES	DIBUJADO	Karla Michelle López Torres
m	REVISADO	Ing. Patricia Panchi
ESCALA	FECHA	21/01/2022
INDICADA	RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA	
TEMA		



N° DE PLANO
1



SIMBOLOGÍA / NOMENCLATURA	
	TEE CONEXIÓN
	CODO DE 90°
	VÁLVULA DE BOLA
	TUBERÍA AGUA LLUVIA
	TUBERÍA AGUA POTABLE

1 FACHADA FRONTAL

ESCALA 1:50

UNIDADES	DIBUJADO	Karla Michelle López Torres	ESCALA	FECHA	21/01/2022	ISOMETRÍA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	N° DE PLANO
m	REVISADO	Ing. Patricia Panchi					
INDICADA							1
TEMA							1



ANEXO IV MEMORIA TÉCNICA

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

MEMORIA TÉCNICA

**PROPUESTA DE UN SISTEMA PARA REUTILIZACIÓN DEL AGUA
LLUVIA EN DESCARGA DE INODOROS Y LIMPIEZA DE
EXTERIORES EN UNA RESIDENCIA FAMILIAR UBICADA EN LA
CIUDAD DE QUITO, DMQ**

KARLA MICHELLE LÓPEZ TORRES

DMQ, febrero 2022

ÍNDICE DE CONTENIDO

ANEXO IV MEMORIA TÉCNICA.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ALCANCE.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	1
1.3 OBJETIVOS	2
2 NORMATIVA	2
3 METODOLOGÍA.....	2
4 RESULTADOS	4
4.1 Base de diseño.....	4
4.2 Sistema de aprovechamiento de agua lluvia	6
4.3 Presupuesto del sistema	10
5 CONCLUSIONES	10
6 RECOMENDACIONES.....	12
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12

1 INTRODUCCIÓN

El indudable desequilibrio entre la cantidad de agua disponible y su demanda, la disminución de reservas de agua y su contaminación, el crecimiento de la población han provocado la escasez de este recurso vital que viene en aumento en un 1 % cada año desde 1980 a nivel mundial. [1]

El aprovechamiento de agua lluvia es un sistema que se ha desarrollado desde la antigüedad datan ejemplos representativos desde 1 710 a.C., el sistema consiste en captar el agua lluvia dependiendo de la climatología del lugar de implementación. La principal función de este sistema es la de almacenar el mayor volumen de agua producido por las precipitaciones para posteriormente ser distribuida en diferentes necesidades básicas. [2]

1.1 ALCANCE

El presente proyecto busca presentar una propuesta técnica de aprovechamiento de agua lluvia en residencia familiar en el sur de Quito, para lograr satisfacer la demanda de agua requerida en inodoros y limpieza de exteriores mayormente en los meses de invierno. Este sistema permitirá destinar el agua que es captada en el techo colocado en la terraza para el uso en un inodoro del primero piso sin la necesidad de bombeo ya que cuenta con los metros de columna de agua suficientes, que asegurarán el transporte del agua.

El sistema propuesto se compone de los siguientes subsistemas: captación, recolección, conducción, tanque interceptor, filtración, almacenamiento, distribución y aprovechamiento. Dicha propuesta estará sujeta a lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-11 [3], Cap. 16, Norma Hidrosanitaria NHE Agua, promulgada el 6 de abril del 2011.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La presión que existe sobre las cuencas hidrográficas y los espejos de agua aumenta, convirtiéndose en un problema crítico en el mundo y el Ecuador no es la excepción. El Ecuador dispone de gran cantidad de agua, por la diversidad de sus regímenes hidrológicos, siendo la región amazónica, la que posee la mayor parte, seguida de la Sierra, Costa y Galápagos, sin embargo, existe un excesivo consumo y desperdicio de este recurso y se prevé un déficit de agua del 40,7 % para el 2025 [4]. Un ejemplo de este desperdicio son los inodoros, que utilizan agua potable para la evacuación de los desechos. De acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1569: "Artefactos sanitarios y su

clasificación”, se utilizan de 4,8 a 6,2 litros por descarga dependiendo del tipo de inodoro y desecho a ser evacuado.

Los sistemas de captación del agua de lluvia representan una gran opción para hacer frente a la escasez de este líquido vital, ya que aseguran el abastecimiento considerando cantidad, calidad y continuidad para diversos usos en el hogar. Al implementar sistemas combinados de agua pluvial dentro de una vivienda, se reduce la demanda de agua potable proveniente de la red municipal y las descargas al sistema de alcantarillado, logrando diversos beneficios económicos y ambientales.

1.3 OBJETIVOS

Plantear una propuesta técnica de reutilización de agua lluvia para inodoros y limpieza de exteriores en residencia familiar ubicada en la ciudad de Quito, DMQ.

2 NORMATIVA

- **Línea base**

Se establece el consumo de agua por persona al día en base a los equipos sanitarios instalados en el proyecto, tomando como base de cálculo el caudal de cada aparato sanitario y su diámetro recomendado. El caudal de uso para el escenario base se lo obtiene de la norma “NEC-1, CAPÍTULO 16, NORMA HIDROSANITARIA”, “Tabla 16.1. Demandas de caudales, presiones y diámetros en aparatos de consumo”

Tabla 1. Demandas de caudal, presión y diámetro normado.

Artefacto	Caudal instantáneo (l/s)	Presión		Diámetro (mm)
		Recomendada (m.c.a)	Mínima (m.c.a)	
Grifo para manguera	0.20	7.0	3.0	16
Inodoro con depósito	0.10	7.0	3.0	16

- **Velocidad de diseño:** 0.6 – 2.5 m/s. Óptimo: 1.5 m/s

3 METODOLOGÍA

Base de diseño
Precipitación: Estación Meteorológica Izobamba (2008-2018) Precipitación promedio mensual del mes de todos los años evaluados

<p>Pi : (mm) valor de precipitación mensual del mes</p> <p>n : número de años evaluados</p> $Ppi = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Pi}{n}$
<p>Volumen disponible</p> <p>Área de Captación: Será el área destinada para que el agua de lluvia precipitada sobre ella sea conducida para su almacenamiento y aprovechamiento.</p> <p>$Ai = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000}$; Volumen disponible donde Ce: 0.9 calamina metálica; Ac: área de captación.</p>
<p>Demanda: Está en función del uso que se le dará al agua de lluvia captada.</p> <p>$Di = \frac{Nu * Nd * Qi}{1000}$; Demanda donde Nu: número de usuarios; Nd: días del mes; Qi: caudal</p>
<p>Recolección y conducción</p> <p>Conjunto de tuberías que reciben el agua de las canaletas y entrega el agua captada hasta el tanque o depósito de almacenamiento.</p> <p>$t = 0.000323 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$; tiempo de duración donde L: longitud horizontal del área de captación y S: pendiente</p> <p>$I = 164.212 * T^{0.1650} * t^{-0.4326}$; Intensidad donde T: tiempo de retorno – t: tiempo de duración</p> $Qp = \frac{C * I * A}{360}$ <p>Diámetro de la canaleta y bajante:</p> $D = 1.548 \left(\frac{n * Qp}{S^{1/2}} \right)^{3/8}$
<p>Interceptor de primeras aguas</p> <p>Impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento y se estima en 1 litro por m2 de techo.</p> $V_{int} = \left(1 \frac{L}{m^2} * A_{techo} \right) / 1000$
<p>Filtros</p> <p>Filtro canaleta Este dispositivo tiene la finalidad de evitar el ingreso de agentes contaminantes al depósito o tanque de almacenamiento.</p> <p>Filtro de alta tasa</p> $A_f = \frac{\text{Caudal de diseño}}{\text{Tasa de filtración}}$ $D_f = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}; D_f: \text{diámetro del filtro.}$

Tanque de almacenamiento

Será el depósito que recibirá y almacenará las aguas pluviales captadas para su aprovechamiento.

$$Vi = Aai - Dai$$

Red de distribución

Se opta por un diámetro comercial de 3/4 pulgadas según norma hidrosanitaria NEC-11.

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

Toma domiciliaria: Instalación que se conecta desde el tanque de almacenamiento de agua de lluvia, a la tubería y llave que brindará el servicio en el interior de la vivienda o del terreno en este caso el inodoro y el grifo para limpieza de exteriores.

4 RESULTADOS

4.1 Base de diseño

4.1.1 Precipitación estación Izobamba (M0003)

Tabla 2. Precipitación media mensual

Mes	Precipitación media mensual (mm)
Enero	172.0
Febrero	185.9
Marzo	231.9
Abril	217.2
Mayo	170.5
Junio	62.0
Julio	40.7
Agosto	45.2
Septiembre	59.0
Octubre	149.5
Noviembre	140.4
Diciembre	145.4

4.1.2 Volumen

El volumen disponible de agua lluvia por mes se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Volumen disponible de agua lluvia

Mes	Días	Ppi (mm)	Ce	Ac (m ²)	Ai (m ³ /día)	Ai (m ³ /mes)	Vint (m ³ /día)	Vd (m ³ /día)
Enero	31	172.00	0.90	25.80	3.99	0.13	0.025	0.10
Febrero	28	185.90	0.90	25.80	4.32	0.15	0.025	0.13
Marzo	31	231.90	0.90	25.80	5.38	0.17	0.025	0.15
Abril	30	217.20	0.90	25.80	5.04	0.17	0.025	0.14
Mayo	31	170.50	0.90	25.80	3.96	0.13	0.025	0.10
Junio	30	62.00	0.90	25.80	1.44	0.05	0.025	0.02
Julio	31	40.70	0.90	25.80	0.95	0.03	0.025	0.01
Agosto	31	45.20	0.90	25.80	1.05	0.03	0.025	0.01
Septiembre	30	59.00	0.90	25.80	1.37	0.05	0.025	0.02
Octubre	31	149.50	0.90	25.80	3.47	0.11	0.025	0.09
Noviembre	30	140.40	0.90	25.80	3.26	0.11	0.025	0.08
Diciembre	31	145.40	0.90	25.80	3.38	0.11	0.025	0.08

4.1.3 Demanda

Aproximadamente 180 L de agua potable consume una persona al día en la ciudad de Quito.

- **Demanda inodoros**

35 % del total de agua potable se destina a descarga de inodoros.

Según el Censo de población 2010, en una vivienda en promedio habitan 4 personas.

$$D_i = \frac{4 \text{ hab} * 31 \text{ días} * 24.8 \frac{\text{L}}{\text{hab} * \text{día}}}{1000} = 3.1 \text{ m}^3 = 0.10 \text{ m}^3/\text{día}$$

- **Demanda uso exteriores**

8 % del total de agua potable es destinada a limpieza y riego.

$$Q_i = 180 \frac{\text{L}}{\text{hab día}} * 0.08 = 14.4 \frac{\text{L}}{\text{hab} * \text{día}}$$

$$D_i = \frac{1 \text{ hab} * 4 \text{ días} * 14.4 \frac{\text{L}}{\text{hab} * \text{día}}}{1000} = 0.078 \text{ m}^3/\text{mes} = 0.02 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$D_{\text{diaria total}} = 0.1 + 0.02 = 0.102 \text{ m}^3 / \text{día}$$

4.2 Sistema de aprovechamiento de agua lluvia

4.2.1 Área de Captación

Tabla 4. Área de captación.

Material	Láminas de Zinc
Dimensiones	Ancho 4.3 m; Largo 6 m
Área, Ac	25 m ²
Pendiente, S	3.5 %

4.2.2 Recolección y conducción

$$t = 0.000323 * \frac{6^{0.77}}{0.035^{0.385}} = 0.005 \text{ min}$$

Se toma tiempo de concentración de 5 min y período de retorno de 5 años.

$$I = 164.212 * 5^{0.1650} * 5^{-0.4326} = 106.74 \text{ mm/h}$$

$$Q_p = \frac{0.9 * 106.74 \text{ mm/h} * 0.00258 \text{ m}^2}{360} = 0.00068 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$D = 1.548 \left(\frac{0.011 * 0.00068 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.035^{\frac{1}{2}}} \right)^{3/8} = 0.035 \text{ m} = 1.38 \text{ pulg}$$

Diámetro comercial: 2 pulgadas

4.2.3 Interceptor de primeras aguas

$$V_{\text{int}} = \frac{1 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} * 25.8 \text{ m}^2}{1000} = 25.8 \text{ L} \approx 25 \text{ L}$$

Tanque comercial: dimensiones 25,5 x 29 x 43 cm

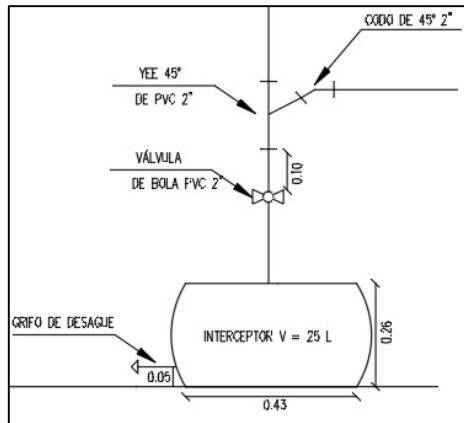


Figura 1. Tanque Interceptor de primeras aguas.

4.2.4 Filtros

- **Filtro de bajante:**

Filtro comercial: dimensiones diámetro 55 mm; altura 30 mm



Figura 2. Filtro del bajante.

- **Filtro de alta tasa**

$$A = \frac{0.00068 \text{ m}^3/\text{s}}{480 \frac{\text{m}}{\text{d}} * \frac{1 \text{ d}}{86400 \text{ s}}} = 0.12 \text{ m}^2$$

$$D_f = \sqrt{\frac{4 * 0.12 \text{ m}^2}{\pi}} = 0.39 \text{ m}$$

Tanque comercial: Dimensiones diámetro 0.37 m; altura 0.68 m

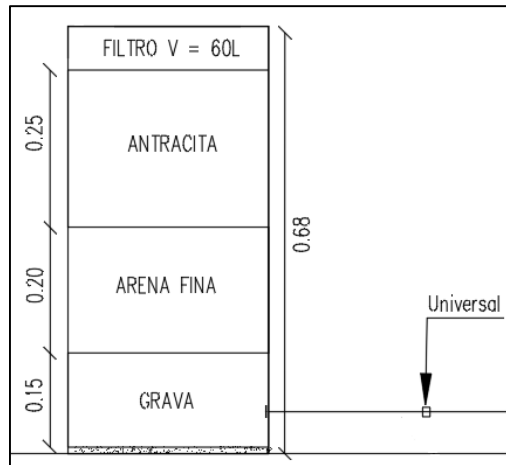


Figura 3. Filtro principal.

4.2.5 Almacenamiento

Tabla 5. Volumen de almacenamiento.

Mes	Di diaria (m ³ /diaria)	Volumen disponible (m ³ /día)	Diferencia	Volumen del tanque de almacenamiento m ³
Enero	0.10	0.10	0.00	0.143
Febrero	0.10	0.13	0.03	
Marzo	0.10	0.15	0.05	
Abril	0.10	0.14	0.04	
Mayo	0.10	0.10	0.00	
Junio	0.10	0.02	-0.08	
Julio	0.10	0.01	-0.10	
Agosto	0.10	0.01	-0.09	
Septiembre	0.10	0.02	-0.08	
Octubre	0.10	0.09	-0.01	
Noviembre	0.10	0.08	-0.02	
Diciembre	0.10	0.08	-0.02	

Tanque comercial: 250 L

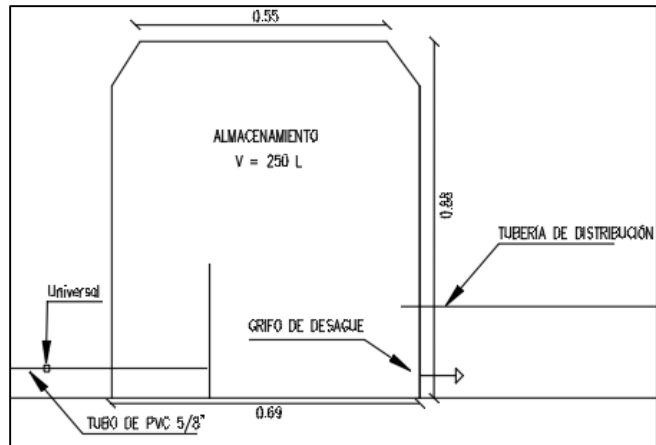


Figura 4. Tanque de Almacenamiento.

4.2.6 Distribución

Velocidad de diseño

$$V = \frac{0.0003 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (0.02 \text{ m})^2}{4}} = 0.95 \text{ m/s}$$

Diámetro comercial de la tubería: 20 mm – ¾ pulgadas

El control de la derivación mediante válvulas de paso en la red de distribución de agua lluvia y potable se da mediante tuberías unidas a la conexión del inodoro mediante una tee de ½ pulgadas, cuentan con una válvula de paso cada una. La válvula de paso de agua potable permanece cerrada cuando exista agua suficiente para cubrir la demanda de agua, dado el caso que no haya agua lluvia almacenada se cierra la válvula de paso de agua lluvia y se abre la válvula de paso de la red de agua potable permitiendo así un suministro continuo.

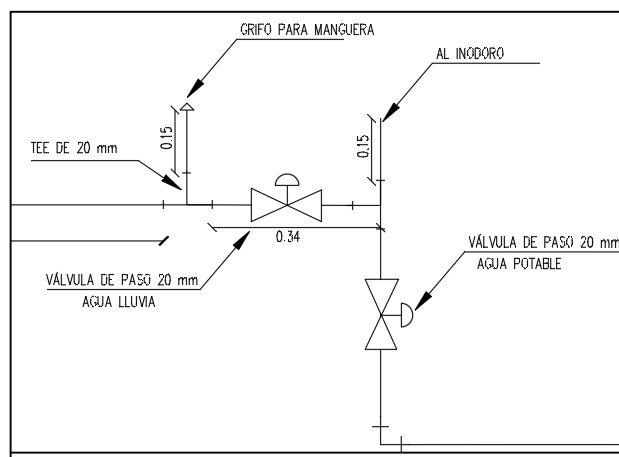


Figura 5. Conexión combinada.

4.3 Presupuesto del sistema

Presupuesto referencial del sistema construido desde cero.

Tabla 6. Presupuesto referencial del sistema.

SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA INODORO Y GRIFO DE MANGUERA				
Sistema	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
Captación	Zinc	12	\$ 8.75	\$ 105.00
	Tubos metálicos (40*40*2 mm) de 6 m	8	\$ 17.00	\$ 136.00
	Pintura + Tiñer	1	\$ 8.00	\$ 8.00
	Mano de obra	1	\$ 50.00	\$ 50.00
Conducción	Tubería de 4 " 3 m	1	\$ 21.00	\$ 21.00
	Tubería de 2 " 3 m	1	\$ 10.00	\$ 10.00
	Reducción 4"-2"	1	\$ 1.50	\$ 1.50
Interceptor	Válvula de bola	1	\$ 4.65	\$ 4.65
Filtro	Yee de 2 "	1	\$ 2.28	\$ 2.28
	Codo de 45 "	1	\$ 1.48	\$ 1.48
	Tanque de 25 L	1	\$ 11.00	\$ 11.00
	Filtro de bajante	1	\$ 2.50	\$ 2.50
	Malla delgada	1	\$ 0.25	\$ 0.25
Almacenamiento	Tanque de 60 L	1	\$ 28.80	\$ 28.80
	Universal 3/4"	1	\$ 1.12	\$ 1.12
	Tanque de 250 L	1	\$ 53.03	\$ 53.03
Distribución	Tubería 3/4" 5 m	4	\$ 13.00	\$ 52.00
	Codo de 90° de 3/4"	7	\$ 0.50	\$ 3.50
	Tee de 3/4"	2	\$ 0.50	\$ 1.00
	Válvula de paso	2	\$ 3.00	\$ 6.00
	Grifo de 3/4"	1	\$ 10.50	\$ 10.50
			Total	\$ 509.61

5 CONCLUSIONES

- La estación que se escogió para determinar la oferta de agua en la residencia fue la estación Izobamba, en la cual se logró encontrar un valor de 231.9 mm/mes de precipitación media mayor correspondiente al mes marzo y una precipitación media menor de 40.7 mm/mes correspondiente al mes de julio. En cuanto a la demanda se obtuvo un valor de 0.1 m³/día correspondiente a la sumatoria de la demanda de inodoros y limpieza de exteriores.

- Con respecto al volumen de agua procedente de la lluvia captada (oferta) y la demanda de agua total, se determinó que, en los meses desde junio a septiembre correspondientes al temporal seco del año, se producirá un déficit en el abastecimiento sanitario, por lo que es necesario combinar el sistema de agua lluvia con el sistema de agua potable, esto debido a que, aunque las precipitaciones son abundantes en el sur del DMQ, estas no son equitativas y así no podrá satisfacer la demanda todo el año.
- En base a la abundancia de precipitaciones, se obtuvo 37.6 m³ anuales de agua pluvial recolectada, requiriendo un tanque de 250 L ofertado en mercado, con capacidad suficiente para el abastecimiento de un inodoro y un grifo para exteriores usado una vez por semana, exceptuando los meses desde junio a septiembre.
- Una desventaja de la utilización de sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales yace en que estos sistemas dependen de manera directamente proporcional a la precipitación, es decir, a la temporada de lluvia y de la intensidad de las mismas, en consecuencia en épocas de sequía podrían resultar muy rentables, sin embargo, continúan siendo una gran alternativa al ser combinadas con la red de agua potable mediante el control de la derivación con válvulas de paso instaladas para la red de agua pluvial y la red de agua potable respectivamente. La válvula de paso de la red de agua potable permanecerá cerrada mientras exista la dotación suficiente proveniente del agua lluvia.
- Se realizó la propuesta de diseño del sistema de distribución de aguas lluvia en base a la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-11, Cap. 16, siendo el diámetro comercial de tubería de 3/4 pulgadas con una velocidad de diseño de 0.95 m/s, valor que se dentro de los valores máximos y mínimos establecidos por la norma.
- Se elaboró el presupuesto referencial con precios propuestos en línea, correspondiendo a un valor de \$ 509.71, si es sistema se lo realizará desde cero, sin embargo, se debe tener en cuenta que los precios establecidos pueden variar debido al mercado. A pesar de la inversión inicial que se debe realizar para la implantación de la propuesta, esta se ve compensada con el beneficio ambiental evitando que el agua pluvial sea desperdiciada y a su vez se reducirá el pago del suministro de agua potable en los meses de verano.
- Se redactó una memoria técnica de la propuesta del sistema de aprovechamiento de agua lluvia (Anexo IV) en la cual se encuentra a modo resumen el detalle de

diseño, cuenta con los apartados: introducción, alcance, justificación, objetivo general, normativa, metodología, resultados, conclusiones y recomendaciones.

6 RECOMENDACIONES

- Realizar la implementación del sistema de aprovechamiento de agua lluvia en los meses en los que exista mayor precipitación más (marzo- abril), para contar con el agua suficiente para cubrir con la demanda y poder tener una reserva para los meses que presentan déficit de abastecimiento.
- Realizar la limpieza del filtro en el inicio como en el final de la temporada lluviosa con el fin de evitar la acumulación de material sólido grueso (hojarasca, mosquitos y basura) y material fino en el filtro de protección del sistema.
- De acuerdo a las recomendaciones del fabricante se deberá realizar el mantenimiento tanto del tanque interceptor de primeras aguas y como del tanque almacenamiento cada 6 meses.
- Colocar una llave de desfogue en el tanque de primeras aguas para una fácil la evacuación del agua de lavado de la techada, al momento de efectuar la limpieza dicho tanque.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ONU, «Organización de las Naciones Unidas,» 2020. [En línea]. Available: <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484732>

[2] R. Torres, «La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente,» 2019. [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000200125

[3] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Norma Ecuatoriana De Construcción, NTE INEN 1571,» 2011 [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1571-2.pdf>

[4] EPMAPS, «Plan de negocios, expansión e inversión de la EPMAPS,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.aguaquito.gob.ec/Alojamientos/Transparencia/K%202021/PLAN%20DE%20NEGOCIOS%202021.pdf>