

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE
APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA PARA EL
ABASTECIMIENTO SANITARIO EN VIVIENDAS UBICADAS AL
SUR DE QUITO MEDIANTE BOMBEO**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AMBIENTAL**

AUTORES:

CÁRDENAS SILLO IVONNE ALEXANDRA
ivonne.cardenas@epn.edu.ec

REINOSO QUINALUISA EDITH GABRIELA
edith.reinoso@epn.edu.ec

DIRECTOR: *Dra.* ANA LUCÍA BALAREZO AGUILAR
Ana.balarezo@epn.edu.ec

Quito, Septiembre 2020

DECLARACIÓN

Nosotras Cárdenas Sillo Ivonne Alexandra y Reinoso Quinaluisa Edith Gabriela, declaramos que le trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada en ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa vigente.

CÁREDNAS SILLO
IVONNE ALEXANDRA

REINOSO QUINALUISA
EDITH GABRIELA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ivonne Alexandra Cárdenas Sillo y Edith Gabriela Reinoso Quinaluisa, bajo mi supervisión.

Ing. Ana Lucía Balarezo Aguilar
DIRECTORA DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiarme en un camino de diferentes direcciones y obstáculos, por brindarme fortaleza para alcanzar mis objetivos, por permitirme creer en mí y darme fe.

A mi madre, Marina por inculcarme la valentía de una mujer y su libertad de lograr lo que se proponga, por acompañarme en mi niñez y enseñarme a ser fuerte.

A mi padre, Saúl por su infinito amor, comprensión y apoyo incondicional ante todos los errores que supe cometer, por ayudarme a levantarme cada vez con más fuerza, por su paciencia, por una vida muy feliz a su lado.

A mis hermanos por ayudarme a madurar y afrontar responsabilidades que ahora deseo inculcarles, Darío, Saul y Alex, sigan adelante, también quiero verlos cumplir sus metas.

A mi familia por compartir esta gran experiencia conmigo, a mi tío, Cesar que fue como un segundo padre para mí, siempre ayudándome con un consejo o acción cuando lo necesitaba y mi abuela, María mi segunda madre, por su cariño, su amabilidad, su apoyo incondicional.

A mis amigos, Olga, Gabriela y Adriana por su paciencia, por compartir los mejores momentos de mi vida, por ser un ejemplo de superación para mí.

A mi compañera de tesis, Gaby por su apoyo, por su paciencia, por ayudar a complementar las ideas para salir adelante con este, nuestro proyecto y por más metas juntas por cumplir.

Ivonne Cárdenas

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios, por darme vida, energía y salud para poder lograr mis metas propuestas.

A mi padre Luis, por ser el motor principal de mi vida, por tenerme paciencia y brindarme mucho amor, por enseñarme que rendirse no es una opción y darme la mano cuando me vio desmotivada o caída, por esforzarse cada día para darme lo necesario para yo poder estudiar, por aconsejarme sabiamente y velar por mí en todo momento; Por conseguir este título porque este logro no solo es mío, sino de los dos y principalmente gracias por inculcarme el amor al deporte ya que ha sido una pieza fundamental en toda mi vida.

A mi madre Marivel, por tenerme mucha paciencia, brindarme su comprensión y siempre escucharme en mis momentos duros y tener palabras reconfortantes en todo momento, por inculcarme el amor a los animales que me ha servido en mi formación personal y principalmente por enseñarme con el ejemplo que todo se puede lograr en la vida y que todo depende de la predisposición que tengamos ante cualquier evento.

A mis amigos del vóley, Alejo y Diablo, por no dejarme sola en los momentos que más los necesité y siempre regañarme cuando era necesario o hacerme reír cuando me vieron caída, gracias por los viajes, las barras, fotos y videos, por tenerme paciencia y enseñarme a jugar vóley, en fin, por llenar de momentos realmente hermosos, felices y memorables mi vida, pero por, sobre todo, gracias por brindarme su amistad sincera y real.

A mis demás amigos de todos los grupos, camaradas, oned's, del básquet y vóley, por las risas, los llantos, los viajes, las giras, los buenos y malos momentos,

realmente los quiero y a mis amigos del equipo de mi vida panthers gracias por hacer de mis fines de semana los mejores momentos.

A mi amiga y compañera de tesis Ivonne, por soportar mi mal genio y siempre estar conmigo en todos los planes y principalmente por hacer de mi vida universitaria algo agradable.

A la Ing. Ana Lucía Balarezo por apoyarnos y ayudarnos en la dirección y ejecución de este proyecto. Al Ing. Luis Jaramillo por guiarnos en los cálculos que necesitamos para el proyecto.

Gabriela Reinoso

DEDICATORIA

A mis padres por enseñarme la importancia del trabajo duro en la vida y nunca rendirme, por inculcarme valores como la honestidad, responsabilidad, confianza y fortaleza para lograr mis metas.

A mí, por luchar contra mis miedos y seguir adelante, no te rindas nunca:

“Ser rebelde no son unos vaqueros rotos, ni un piercing en la lengua, ser rebelde es levantarte cada mañana y empeñarte en perseguir tus sueños, cueste lo que cueste, un día saldrás a la calle y esos sueños estarán ahí fuera, esperándote”.

Ivonne Cárdenas

DEDICATORIA

A mis padres por todo el apoyo que me han brindado, por cuidarme e impulsarme a ser una mejor persona, por ser los mejores guías que Dios me pudo dar y principalmente, por ayudarme a superar los desafíos duros que la vida me ha traído.

A mi abuelo Rafael, que, aunque ya no está conmigo, vive en mi mente y en mi corazón y le había prometido tener este logro.

Gabriela Reinoso

ÍNDICE

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	VI
DEDICATORIA	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XV
ÍNDICE DE ANEXOS	XVI
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XVIII
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN	2
1.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS VIVIENDAS.....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVO	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4. ALCANCE	5
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.....	6
2.1.1. FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	6
2.1.2. PRECIPITACIÓN.....	6
2.2. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA.....	7
2.2.1. PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS	7
2.2.2. ÍNDICE DE LANGELIER	9
2.3. SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA.....	11
2.3.1. SUBSISTEMA DE CAPTACIÓN.....	12

2.3.2.	SUBSISTEMA DE CONDUCCIÓN	12
2.3.3.	SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO	12
2.3.4.	SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA	13
2.3.5.	FILTROS	18
2.4.	FACTIBILIDAD FINANCIERA	19
2.4.1.	INGRESOS.....	19
2.4.2.	INVERSIONES	19
2.4.3.	COSTOS FIJOS	19
2.4.4.	INDICADORES FINANCIEROS	19
CAPITULO 3. METODOLOGÍA.....		21
3.1.	CRITERIOS DE DISEÑO HÍDRICO	21
3.1.1.	ÁREA ÚTIL DE CAPTACIÓN	21
3.1.2.	VOLUMEN DE CAPTACIÓN	22
3.1.3.	DEMANDA DE AGUA EN EL INODORO	25
3.1.4.	PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA	27
3.2.	DISEÑO DE COMPONENTES DEL SISTEMA.....	35
3.2.1.	SUBSISTEMAS DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN	35
3.2.2.	SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO	39
3.2.3.	SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	41
3.3.	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	50
3.3.1.	CRITERIOS DE ESCALAMIENTO	51
3.3.2.	CONSTRUCCIÓN DEL SUBSISTEMA CAPTACIÓN.....	51
3.3.3.	CONSTRUCCIÓN DEL SUBSISTEMA DE CONDUCCIÓN	52
3.3.4.	CONSTRUCCIÓN DEL SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO	53
3.3.5.	CONSTRUCCIÓN DEL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	57
3.4.	MONITOREO DEL PROTOTIPO	60
3.4.1.	REAJUSTES EN EL FUNCIONAMIENTO CONTINUO DEL PROTOTIPO.....	61
3.4.2.	CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA; PARÁMETROS FÍSICOS	61
3.5.	EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROTOTIPO.....	62
3.5.1.	DETERMINACIÓN DE INGRESOS.....	63
3.5.2.	DETERMINACIÓN DE EGRESOS	64

3.5.3. DETERMINACIÓN DE COSTOS FIJOS	65
3.5.4. DETERMINACIÓN DE INDICADORES FINANCIEROS	66
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
4.1. CAPACIDAD DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO	69
4.1.1. DEMANDA DE AGUA REQUERIDA POR EL INODORO	69
4.1.2. OFERTA DE AGUA LLUVIA CAPTADA.....	70
4.1.3. VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	70
4.2. ÍNDICE DE LANGELIER.....	71
4.3. EFICIENCIA DE LA REMOCION DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES	72
4.4. RENTABILIDAD DEL SISTEMA	73
4.4.1. INGRESOS Y EGRESOS.....	73
4.4.2. INDICACDORES FINANCIEROS.....	74
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
5.1. CONCLUSIONES.....	75
5.2. RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXOS	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Precipitación mensual, período 1990 - 2018. Estación Izobamba	7
Tabla 2.2	Índice de Langelier	10
Tabla 2.3	Índice de Langelier corregido por Carrier	11
Tabla 3.1	Precipitación promedio mensual de la estación Izobamba	22
Tabla 3.2	Volumen mensual de agua lluvia captada	24
Tabla 3.3	Volumen de agua total requerido según el tipo de inodoro.....	26
Tabla 3.4	Demanda de agua total mensual del inodoro	27
Tabla 3.5	Métodos y equipos para determinar parámetros físicos y químicos ..	28
Tabla 3.6	Sólidos sedimentables del agua lluvia	33
Tabla 3.7	Volumen diario de agua disponible.....	40
Tabla 3.8	Volumen del tanque de almacenamiento.....	41
Tabla 3.9	Accesorios en la succión y su factor.....	46
Tabla 3.10	Accesorios en la descarga y su factor	47
Tabla 3.11	Precipitaciones, periodo 1987 - 2017. Estación Iñaquito.....	50
Tabla 3.12	Volumen diario de agua disponible en el prototipo	55
Tabla 3.13	Volumen del tanque de almacenamiento del prototipo	56
Tabla 3.14	Accesorios en la succión del prototipo.....	58
Tabla 3.15	Accesorios en la descarga del prototipo	59
Tabla 3.16	Sólidos sedimentables en el inodoro	62
Tabla 3.17	Pliego tarifario.....	63
Tabla 3.18	Presupuesto referencial	65
Tabla 3.19	Costos fijos	65
Tabla 3.20	Flujo de caja de la demanda sanitaria	66
Tabla 3.21	Flujo de caja del volumen total de agua captada.....	67
Tabla 3.22	Indicadores financieros de la demanda de agua del inodoro.....	68
Tabla 3.23	Indicadores financieros del volumen total de agua captada	68
Tabla 4.1	Demanda de agua mensual del inodoro	69
Tabla 4.2	Resumen del volumen mensual de agua lluvia captada.....	70
Tabla 4.3	Abastecimiento de agua en el inodoro.....	71

Tabla 4.4	Resultado del ILS	72
Tabla 4.5	Eficiencia de remoción de sólidos sedimentables	72
Tabla 4.6	Ingresos.....	73
Tabla 4.7	Resultados indicadores financieros	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Zona de estudio.....	2
Figura 2.1	Componentes de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia.....	12
Figura 2.2	Área captada	12
Figura 2.3	Bomba centrífuga	15
Figura 2.4	Bomba sumergible.....	15
Figura 2.5	Bomba periférica	16
Figura 2.6	Sistema de tanque hidroneumático y bomba.....	17
Figura 2.7	Sensor de nivel de agua tipo flotador	17
Figura 2.8	Contactador	18
Figura 3.1	Modelo de vivienda tipo “Sierra - Oriente 2”	22
Figura 3.2	Precipitación media mensual. Estación Izobamba	23
Figura 3.3	Temperatura del agua lluvia	29
Figura 3.4	pH del agua lluvia	30
Figura 3.5	Conductividad del agua lluvia	30
Figura 3.6	Turbiedad del agua lluvia.....	31
Figura 3.7	Dureza total del agua lluvia	32
Figura 3.8	Alcalinidad del agua lluvia	33
Figura 3.9	Ejemplo de cálculo - Calculadora Lenntech.....	34
Figura 3.11	Sistema de captación y canaletas	35
Figura 3.12	Dimensiones de la canaleta; corte transversal	36
Figura 3.13	Casas en la zona de estudio	39
Figura 3.14	Armado y fijación de la estructura metálica	51
Figura 3.15	Colocación de la techada	51
Figura 3.16	Canaleta y bajante.....	53
Figura 3.17	Elaboración del agujero en el tanque de primeras aguas.....	54
Figura 3.18	Colocación del tanque de primeras aguas.....	54
Figura 3.19	Tanque de almacenamiento del prototipo.....	57
Figura 3.20	Malla móvil en el tanque de almacenamiento.....	57
Figura 3.21	Conexiones eléctricas.....	60

Figura 3.22 Automatización de la bomba	60
Figura 3.23 Reparación de fugas en el tanque de primeras aguas	61
Figura 3.24 Reajuste de tubería de distribución	61
Figura 3.25 Filtro de esponja	62
Figura 3.26 Análisis de sólidos sedimentables	62

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1	Dureza total.....	8
Ecuación 2.2	Alcalinidad.....	9
Ecuación 2.3	Índice de Langelier.....	10
Ecuación 3.1	Volumen de agua lluvia captada	23
Ecuación 3.2	Demanda de agua total mensual del inodoro.....	25
Ecuación 3.3	Caudal total de inodoros	25
Ecuación 3.4	Área transversal de canaleta tipo J.....	36
Ecuación 3.5	Perímetro mojado de canaleta tipo J.....	36
Ecuación 3.6	Ecuación de Manning; caudal de la canaleta.....	37
Ecuación 3.7	Radio hidráulico	37
Ecuación 3.8	Caudal en una precipitación máxima	38
Ecuación 3.9	Volumen máximo de agua captada.....	38
Ecuación 3.10	Volumen del interceptor de primeras aguas.....	39
Ecuación 3.11	Caudal del flujo en la tubería.....	42
Ecuación 3.12	Ecuación de Bernoulli	42
Ecuación 3.13	Ecuación de Darcy-Weisbach	43
Ecuación 3.14	Número de Reynolds	43
Ecuación 3.15	Velocidad del flujo en la tubería	44
Ecuación 3.16	Factor de pérdida	44
Ecuación 3.17	Pérdidas por accesorios.....	45
Ecuación 3.18	Pérdidas de carga totales.....	47
Ecuación 3.19	Potencia de la bomba	48
Ecuación 3.20	Volumen del tanque hidroneumático.....	49
Ecuación 3.21	Área transversal de un semicírculo	52
Ecuación 3.22	Perímetro mojado de un semicírculo.....	52
Ecuación 3.23	Volumen promedio anual en el tanque de almacenamiento.....	63
Ecuación 3.24	Ingresos	63
Ecuación 3.25	Valor Presente Neto.....	67
Ecuación 3.26	Periodo de retorno de la inversión	68

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.1. Coeficientes de escorrentía de acuerdo con el material de la superficie de captación.....	82
Anexo 1.2. Coeficiente de Manning	82
Anexo 1.3. Rugosidad absoluta del material	83
Anexo 1.4. Diagrama de Moody – Roose	83
Anexo 1.5. Factor de pérdida de acuerdo con el tipo de accesorio	84
Anexo 1.6. Ciclos por hora de encendido y apagado del grupo motor-bomba	84
Anexo 2.1. Temperatura del agua lluvia	85
Anexo 2.2. pH del agua lluvia	85
Anexo 2.3. Conductividad del agua lluvia	85
Anexo 2.4. Turbiedad del agua lluvia.....	85
Anexo 2.5. Dureza total del agua lluvia	85
Anexo 2.6. Alcalinidad del agua lluvia	85
Anexo 3.1. Tanque de primeras aguas prototipo	86
Anexo 3.2. Tanque de almacenamiento - Prototipo.....	87
Anexo 3.3. Tanque de almacenamiento	88
Anexo 3.4. Tubería PVC.....	89
Anexo 3.5. Bomba periférica	90
Anexo 3.6. Tanque hidroneumático	94
Anexo 4.1. Planos de la casa completo -vista frontal	96
Anexo 5.1. Precipitación mensual y anual de la estación Izobamba en el periodo 1990 - 2018	97
Anexo 5.2. Precipitación máxima de un día registrada en la estación Izobamba en el periodo 1990 – 2018.....	98
Anexo 5.3. Precipitación mensual de la estación Iñaquito en el periodo 1987 - 2017	99

RESUMEN

En este proyecto técnico experimental se presenta una propuesta de aprovechamiento de agua lluvia aplicado a viviendas unifamiliares en la zona rural sur del DMQ, debido al desperdicio de agua potable que existe en los hogares siendo 20% del total de agua potable consumida en una vivienda destinada al inodoro ocasionando que en Quito se consuma 200L por persona mientras que la OMS establece que el consumo debería ser 100L.

Se inició con una revisión bibliográfica dónde se recopiló datos hidrometeorológicos locales, normativa vigente, tarifas de agua de la EMAAPS-Q, información disponible en el INEC (2010) y metodología aplicable al sistema de aprovechamiento.

Tras con un reconocimiento de la zona de estudio se evidenció el consumo real de agua potable, el número de habitantes por vivienda y las características estructurales de la vivienda necesarios para establecer los criterios de diseño, dando como resultado la instalación de 4 subsistemas: captación, conducción, almacenamiento y distribución, que luego fue escalado y montado en un prototipo

Además, teniendo en cuenta las características ligeramente ácidas del agua lluvia, se realizó una campaña de muestreo en época seca y lluviosa, evidenciando la presencia de sólidos sedimentables y reafirmando el pH del agua.

Finalmente, se determinó la viabilidad positiva de la implementación del sistema al usar toda el agua captada, al recolectando 7.07 m³ de agua en promedio dependiendo del mes y teniendo una vida útil de 20 años y un periodo de retorno de la inversión de 7 años se obtuvo una ganancia de \$63,27 anuales. Esto beneficiará a más de 1494 habitantes localizados en la zona de estudio, lo que permitirá un ahorro económico de agua a mayor escala.

ABSTRACT

This experimental technical project presents a proposal for the use of rainwater applied to single-family homes in the southern rural area of the DMQ, due to the waste of drinking water that exists in homes, being 20% of the total drinking water consumed in a dwelling intended to the toilet causing that in Quito 200L is consumed per person while the WHO establishes that the consumption should be 100L.

It began with a bibliographic review where local hydrometeorological data, current regulations, water rates from the EMAAPS-Q, information available in the INEC (2010) and methodology applicable to the use system were collected.

After a survey of the study area, the actual consumption of drinking water, the number of inhabitants per dwelling, and the structural characteristics of the dwelling necessary to establish the design criteria were evidenced, resulting in the installation of 4 subsystems: catchment, conduction, storage and distribution, which was then scaled up and mounted on a prototype.

In addition, taking into account the slightly acidic characteristics of rainwater, a sampling campaign was carried out in the dry and rainy season, showing the presence of sedimentable solids and reaffirming the pH of the water.

Finally, the positive viability of the implementation of the system was determined by using all the water collected, by collecting 7.07 m³ of water on average depending on the month and having a useful life of 20 years and a return period of the investment of 7 years, a profit of \$ 63.27 was obtained. yearly. This will benefit more than 1,494 inhabitants located in the study area, which will allow an economic saving of water on a larger scale.

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El evidente desequilibrio entre la cantidad de agua dulce disponible y su demanda, la disminución de reservas de agua, su contaminación, el crecimiento de la población y el desarrollo industrial han provocado la escasez de este recurso. Cada vez son menos las fuentes aptas para cubrir la demanda de la población, reflejando que este problema es a nivel mundial y lo más grave, es el pensamiento de la sociedad, considerando el agua como un recurso ilimitado, justificando su sobreexplotación (Pacheco, 2008).

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 (CEPAL, 2012); Pero existe un excesivo consumo y desperdicio de este recurso y se prevé un déficit de agua del 40,7 % para el 2025 (Yáñez, Franco, Bastidas, & Córdova, 2017). 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.

En ciudades como Bogotá y Antioquia – Colombia para evitar este desperdicio se han llevado a cabo proyectos de aprovechamiento de agua lluvia en colegios y distintas comunidades obteniendo resultados muy favorables a lo largo del año. En el Ecuador el Plan Nacional de Gestión Integrada e Integral de los Recursos Hídricos de las Cuencas y Microcuencas del Ecuador (2017) incentiva el aprovechamiento de agua lluvia como medida comunitaria para uso doméstico y/o agrícola mejorando la calidad de vida y preservando el recurso hídrico (Yáñez, Franco, Bastidas, & Córdova, 2017).

Por lo que se ve la necesidad de implementar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia en zonas rurales, debido a que el acceso al agua potable es inequitativo.

1.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN

En la provincia de Pichincha existe una población de 111 832 habitantes en áreas rurales, mientras que en el DMQ existe 1494 habitantes dentro del área de estudio los cuales habitan en promedio de 4 personas por vivienda (INEC, 2010). La Figura 1.1 muestra la ubicación de la zona de estudio (Lloa).

Figura 1.1 Zona de estudio



Fuente: (DMQ, 2011)

1.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS VIVIENDAS

Según el INEC (2010), en el DMQ la vivienda predominante es la “*casa/villa*” no compartida con un 75,32% en la zona rural y el material principal del techo o cubierta es el asbesto (eternit, eurolit) con 30,07%, seguido por las planchas de Zinc con un 27,04%.

Además, el 50,58% de la población recibe agua proveniente de ríos, vertientes, acequias o canales, seguido por un 43,82% que tiene servicio de agua potable; La conexión del agua viene dada por tubería dentro de la vivienda con un 48,02%, seguidas de tubería fuera de la vivienda, pero dentro del lote con un 30,77% (INEC, 2010). En muchos casos a pesar de contar con agua potable su uso es limitado debido a la intermitencia de este servicio y falta de mantenimiento en la infraestructura lo que provoca el uso de fuentes alternas de agua.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El crecimiento demográfico, ha venido forzando a la población a ocupar lugares de baja o nula disponibilidad de este recurso (Ballén, Galarza, & Ortiz, 2006). 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.

En Antioquia-Colombia, se tomó como iniciativa para minorar esta problemática el aprovechamiento de agua lluvia aplicado en sanitarios y lava-escobas durante 9 meses y cubriendo el 90% de la demanda en los 3 meses restantes del año.

Por lo que, se presenta un estudio exploratorio en base al aprovechamiento del agua lluvia como alternativa de ahorro de agua potable en el inodoro, destacándose la zona rural del sur de Quito, por tener una precipitación promedio de 1500 mm/año (Beltrán, 2015).

Para conocer la pluviosidad de la zona de estudio, se utilizará información proporcionada por la Secretaría de Ambiente Quito e INAMHI, de la estación de monitoreo meteorológica más cercana a la zona, con un mínimo de datos de 15 años consecutivos (Martínez & Paucar, 2019).

Para establecer las condiciones de diseño del sistema de aprovechamiento se utilizará información cuantitativa y cualitativa respecto a las características del hogar y la vivienda proporcionada por el INEC (2010), mismas que será, implementadas en el prototipo.

El prototipo se compone de los siguientes subsistemas: captación, conducción, almacenamiento y distribución (OPS, 2004). La captación se realizará en la techo de la vivienda; en la conducción se usará canaletas y bajantes ubicadas hacia el tanque interceptor de primeras aguas, reteniendo el agua del lavado de la techada, posteriormente el agua se dirigirá hacia el tanque de almacenamiento, mediante tubería que contará con un filtro, finalmente, la distribución será por medio de una electrobomba hacia los inodoros (Palacio, 2010).

La contaminación atmosférica debido al transporte vehicular en el DMQ tiende a generar lluvia ácida, por lo que, se analizará las características corrosivas o incrustantes mediante el Índice de Langelier, midiendo en el laboratorio parámetros como: temperatura, sólidos sedimentables, turbiedad, conductividad y pH, dureza y alcalinidad;

Una vez concluida la construcción del prototipo se analizará la factibilidad financiera mediante la evaluación de indicadores económicos para conocer la rentabilidad del sistema.

Los resultados obtenidos del trabajo técnico experimental podrán ser utilizados como información técnica básica para proyectos futuros a nivel educativo, productivo, social y de investigación avanzada.

1.3.OBJETIVO

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un prototipo de aprovechamiento de agua lluvia para el abastecimiento de la demanda de agua en inodoros de viviendas ubicadas en la zona sur de Quito.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer el volumen de agua proveniente de precipitaciones y la demanda requerida en los inodoros en función de los habitantes de una vivienda mediante recopilación de información proporcionada por el INEN, INAMHI y

la Secretaría de Ambiente Quito, para establecer la capacidad del tanque de almacenamiento de acuerdo con los estándares del mercado.

- Analizar la eficiencia de remoción de sólidos del prototipo de aprovechamiento de agua lluvia en función de: captación, conducción, interceptor de primeras aguas, almacenamiento y distribución mediante análisis gravimétrico del agua que se utilizará en el inodoro.
- Analizar la factibilidad financiera del prototipo mediante un flujo de fondos para evaluar la rentabilidad del sistema en función de su vida útil.

1.4.ALCANCE

El presente proyecto busca diseñar un prototipo de aprovechamiento de agua lluvia con características típicas de una vivienda, para lograr satisfacer completamente la demanda de agua requerida en inodoros, en zonas rurales del sur del DMQ. Este sistema permitirá dirigir el agua captada en la techada de la vivienda y ser enviada a más de un retrete, mediante una electrobomba que asegurará el transporte del agua.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1.INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

El territorio ecuatoriano tiene 31 cuencas hidrográficas, con 79 subcuencas, de los cuales, 24 llegan al Océano Pacífico y 7 hacia la región Oriental (SENAGUA, 2009). Cuenta con un gran potencial con respecto a recursos hídricos, debido a la presencia de la cadena montañosa de Los Andes en la región Sierra, originando una red hidrográfica que se extiende por casi todo el país, excepto en zonas occidentales y meridionales áridas de la Costa (SNGR/ECHO/UNISDR, 2012).

2.1.1. FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

La fuente de abastecimiento primordial de agua son los glaciares, la segunda con mayor extensión son los páramos y existen 26 de fuentes de agua subterránea, que pueden ser utilizadas como fuente complementaria o en ciertos lugares como única (Galárraga, 2000).

En Pichincha las fuentes de abastecimiento provienen de: la cuenca alta del río Esmeraldas, aguas subterráneas y trasvases de las subcuencas orientales (USFQ, 2008). Particularmente, el sur del DMQ es abastecido por el sistema Mica-Quito Sur y por los sistemas occidentales (Sistema Lloa) (EPMAPS, 2020).

2.1.2. PRECIPITACIÓN

La precipitación es el resultado de la evaporación y condensación del agua de diferentes fuentes. Una de las características más importante del agua lluvia es la pureza, que se ve afectada al acercarse a zonas urbanas y con mayor actividad industrial, puesto que, se emite mayor cantidad de contaminantes, provocando lluvia ácida (Gonzaga, 2015).

En el Ecuador la precipitación media anual asciende a 2 274 mm, este valor varía de acuerdo con la zona y al periodo (seco y lluvioso) (Galárraga, 2000). Particularmente en el DMQ las variaciones pluviales son muy evidentes, existiendo precipitaciones menores a 400 mm anuales en la zona norte, mientras que en la

zona sur sobrepasan los 4500 mm anuales (USFQ, 2015). Razón por la cual, se eligió el sur de DMQ y se tomó datos hidrometeorológicos registrados por la estación Izobamba (M0003) que está ubicada en la provincia de Pichincha, en el sector de Izobamba, a 3085 m.s.n.m., (Tabla 2.1), por ser la más próxima al lugar de estudio.

Tabla 2.1 Precipitación mensual, período 1990 - 2018. Estación Izobamba

Precipitación mensual [mm]												
Estación Izobamba (M0003)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Mín	33,3	55,1	62,4	95,4	64,9	9,7	4,6	3,1	9,7	7,9	28,9	30,5
Máx	295,4	275,5	331,1	318,7	250,5	149,7	196,2	100,5	167,7	201,9	326,2	304,8
Sum	3824,2	4469,7	5734,6	5873,1	4436,4	1848,3	988,8	1006,6	2059,1	3688	4248,1	4068

Fuente: Anuarios Meteorológicos - (INAMHI, 2012)

En el resumen de los datos de precipitación mensual máxima, mínima y suma total registrados en el período entre 1990 - 2018, se puede observar que el pico máximo está en el mes de abril con precipitaciones totales de 5873,1 mm y un pico mínimo en el mes de julio con un total de 988,8 mm. El anexo 5.1, muestra a detalle la precipitación mensual y anual del mismo período.

2.2.PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

Para el aprovechamiento de agua lluvia como una alternativa al uso de agua potable en el inodoro, es necesario determinar la naturaleza física y química previo a su circulación, debido a que esta puede presentar características que puedan afectar la infraestructura de distribución y la estética.

2.2.1. PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS

- **Potencial hidrógeno**

Es un indicador de acidez o alcalinidad de una solución, con una escala de 0 a 14. siendo el valor más próximo a 0 una solución ácida y más cercana a 14, básica y como valor neutro el 7 a 25°C (Mejía & Urcuango , 2019).

El agua lluvia posee un pH entre 5,6 y 6 (en ausencia de contaminantes) nivel levemente ácido debido a la presencia de CO₂, este valor puede variar al combinarlo con dióxidos de azufre y nitrógeno obteniendo valores de hasta 4.

- **Conductividad en TSD**

La conductividad eléctrica del agua permite obtener una estimación aproximada de la cantidad de sales disueltas que contiene a 25°C, se expresa en (S/cm). Si el agua es de alta pureza la conductividad es baja. La temperatura también afecta a la conductividad ya que su valor aumenta de 2% a 3% por grado Celsius (Boluda, 2014).

- **Turbiedad**

Propiedad óptica que refleja el nivel de transparencia del agua, en presencia de materia orgánica o sedimentos hace que la luz se transmita de forma dispersa y se absorba. Valores altos de turbidez puede interferir en procesos de desinfección (Marco et al., 2004 citado en (Mejía & Urcuango , 2019).

- **Dureza total y cálcica**

La dureza del agua se debe a la presencia de calcio y magnesio disueltos en el agua y otros iones polivalentes, se expresa como la cantidad equivalente de carbonato de calcio. Respecto al agua lluvia en ausencia de contaminantes esta es blanda.

El aumento de la cantidad de sales representa una serie de problemas de incrustaciones en equipos industriales y domésticos (NTE-INEN-974, 2016). La dureza total se calcula mediante la ecuación 2.1.

Ecuación 2.1 Dureza total

$$D_{TOT} = \frac{V_{EDTA} * M_{EDTA} * PM_{CaCO_3}}{V_{muestra}} * 1000 \frac{mg}{g}$$

Donde: D_{TOT} : dureza total $\left[\frac{mg \text{ CaCO}_3}{L \text{ muestra}} \right]$

V_{EDTA} : volumen de EDTA consumido en la titulación [mL]

M_{EDTA} : molaridad del EDTA utilizado como titulante $\left[\frac{mol}{L}\right] \rightarrow (0,01M)$

PM_{CaCO_3} : peso molecular del carbonato de calcio $\left[\frac{g}{mol}\right] \rightarrow (100 g)$

$V_{muestra}$: volumen de la muestra $[mL] \rightarrow (10 mL)$

- **Alcalinidad**

La alcalinidad es causada por los bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos presentes en disolución asociado a cationes como: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . Es una medida de su capacidad para reaccionar o neutralizar iones hidronio (H^+) (Boluda, 2014). La ecuación 2.2 indica cómo calcular la alcalinidad de una muestra de agua.

Ecuación 2.2 Alcalinidad

$$Alcalinidad = \frac{V_{H_2SO_4} * N_{H_2SO_4}}{V_{muestra}} * 5000$$

Donde: **Alcalinidad**: $\left[\frac{meq}{L}\right]$

$V_{H_2SO_4}$: volumen de ácido sulfúrico gastados en titulación $[mL]$

$N_{H_2SO_4}$: normalidad del ácido sulfúrico utilizado como titulante $\left[\frac{mol}{L}\right]$

$V_{muestra}$: volumen de la muestra $[mL] \rightarrow (100 mL)$

- **Sólidos sedimentables (SS)**

Es la suma de todos sólidos de una muestra que sedimentan en un período de tiempo y se expresan en $\frac{mL}{L}$ o $\frac{mg}{L}$. El agua lluvia va atrapando las partículas que se encuentran en el aire, pero pese a esto el valor de sedimentos es baja.

2.2.2. ÍNDICE DE LANGEЛИER

El índice de Langelier es útil para determinar las tendencias corrosivas o incrustantes del agua para uso doméstico. El cálculo se lo lleva a cabo en la plataforma virtual LENNTECH en “Langelier Saturation Index Calculator (LSI)” y también se puede calcular este índice de manera manual con la ecuación 2.3:

Ecuación 2.3 Índice de Langelier

$$LSI = pH + TF + CF + AF - 12,1$$

Donde: **pH**: potencial hidrógeno

TF: factor de temperatura al momento del muestreo

CF: dureza de calcio en la muestra

AF: alcalinidad total en la muestra

Para el cálculo es necesario tener en cuenta que:

- La temperatura se mide al momento del muestreo.
- El pH puede variar desde la toma de muestra “*in situ*” al análisis en el laboratorio debió a la alta sensibilidad que presenta frente a la contaminación.

Los resultados obtenidos en la calculadora virtual se concluirán de acuerdo con la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Índice de Langelier

LSI	Indicación
LSI<0	Agua no saturada con respecto al CaCO ₃ , esta agua posee la tendencia de eliminar láminas de CaCO ₃ presentes que protegen las tuberías y equipos
LSI=0	Agua considerada neutra. No existe incrustaciones ni eliminación de estas.
LSI>0	Agua sobresaturada con respecto al CaCO ₃ . Posible formación de incrustaciones.

Fuente: (LENNTECH, 2020)

Se presenta un LSI mejorado por Carrier, donde se presenta rangos más detallados con su respectiva clasificación como se muestra en la Tabla 2.3:

Tabla 2.3 Índice de Langelier corregido por Carrier

LSI (Carrier)	Indicación
-2,0 <LSI< -0,5	Corrosión severa
0,5 <LSI< 0,0	Corrosión leve, pero sin formación de incrustaciones
LSI=0.0	Equilibrada pero posible corrosión leve
0,0 <LSI< 0,5	Formación leve de incrustaciones y corrosión
0,5 <LSI< 2,0	Formación de incrustaciones, pero no corrosiva

Fuente: (LENNTECH, 2020)

Una vez analizada la característica del agua se puede corregir, dependiendo de:

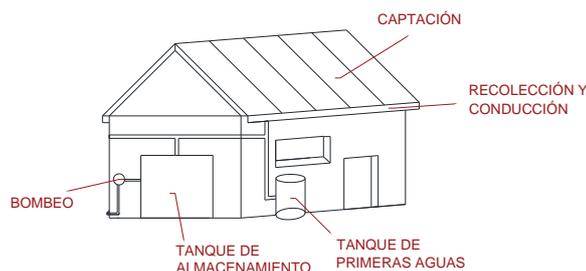
- Agua con tendencia corrosiva es necesario agregar un álcali, puede ser implementando un filtro de calcita, con ello aumentar el pH del agua.
- Agua con tendencia incrustante es necesario agregar un suavizador como puede ser el ácido para equilibrar el pH.

2.3. SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA

El aprovechamiento de agua lluvia se ha utilizado tradicionalmente para suplir necesidades básicas, a través de técnicas que se han empezado a estudiar científicamente, tal como: *“Cosecha de Agua de Lluvia para Consumo Humano, Consumo Pecuario y Agricultura de Secano”*, México (Velasco & Carmona, 1980); desempeñando un papel importante en la producción agrícola, ganadera y consumo doméstico (FAO, 2000).

Existe gran variedad de técnicas de captación de agua lluvia en viviendas, dependiendo de la fuente (precipitación, niebla, nieve) (FAO, 2000). La Organización Panamericana de la Salud establece que un sistema de aprovechamiento de agua lluvia consta de: captación, conducción, almacenamiento, distribución y dependiendo del uso del agua, filtración (OPS, 2004). La Figura 2.1 muestra los diferentes componentes que tiene un sistema de aprovechamiento de agua lluvia en una vivienda individual unifamiliar.

Figura 2.1 Componentes de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia

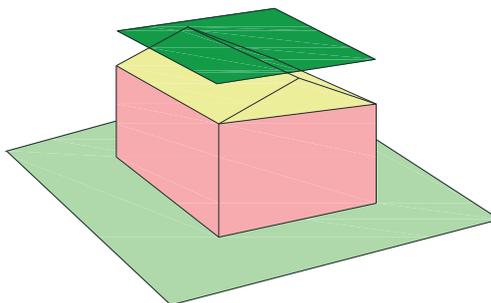


Elaborado por: Cárdenas & Reinoso

2.3.1. SUBSISTEMA DE CAPTACIÓN

El área de captación es el área proyectada de la superficie total de la cubierta de una vivienda como se indica en la Figura 2.2, además, el tipo de material de la cubierta es un factor para tomar en cuenta (coeficiente de escorrentía), debido a que el agua va a escurrir sobre esta superficie (Gonzaga, 2015).

Figura 2.2 Área captada



Elaborado por: Cárdenas & Reinoso

2.3.2. SUBSISTEMA DE CONDUCCIÓN

El subsistema de conducción está formado por canaletas y bajantes que se encargan de llevar el agua hacia el tanque interceptor de primeras aguas, de acuerdo con el INEC (2010). Puede ser de diferentes materiales como: madera, PVC, cobre u otro metal.

2.3.3. SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Este subsistema está compuesto por dos tanques, el de primeras aguas y el de almacenamiento. El agua es conducida por las bajantes al tanque interceptor de

primeras aguas, una vez lleno, el fluido restante es dirigido al tanque de almacenamiento y posteriormente a la tubería de distribución.

2.3.3.1. TANQUE INTERCEPTOR DE PRIMERAS AGUAS

Este tanque es utilizado como filtro, encargado de almacenar las aguas que corresponden al lavado de la cubierta, estas aguas contendrán polvo, heces de aves, sólidos grandes y medianos que no pudieron ser retenidos en la rejilla de la bajante, evitando el paso de agua contaminada al tanque de almacenamiento (Gonzaga, 2015).

2.3.3.2. TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Este tanque se encarga de almacenar el agua lluvia captada, se encuentra conectado al tanque de primeras aguas y conduce el agua al subsistema de distribución, puede ubicarse a nivel del suelo o estar enterrado y debe ser impermeable y con tapa para impedir el ingreso de insectos, luz o polvo y a su vez, permita tener facilidad para realizar la limpieza de este. Los tanques enterrados comúnmente son construidos de concreto reforzado, ferrocemento y mampostería, dependiendo del volumen que se necesite, mientras que, los tanques a nivel del suelo están hechos de PVC y se los consigue de acuerdo con la oferta del mercado (Acosta & Peláez , 2016).

2.3.4. SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA

Este subsistema es el encargado de transportar el agua desde el tanque de almacenamiento hacia el inodoro, para esto es necesario la utilización de una bomba junto con tuberías y accesorios.

2.3.4.1. SISTEMA DE TUBERÍAS

El sistema de tuberías puede ser de diferentes materiales, pero lo más recomendable es que sea de PVC con algunos accesorios como codos, válvulas, tees uniones, etc. Son empleados en el transporte de agua a alta presión, usados en fontanería y construcción.

Para la selección del diámetro de la tubería se deberá cumplir los siguientes requisitos:

- El diámetro de la tubería de succión deberá ser mayor o igual al diámetro de la tubería de descarga.
- El diámetro de las tuberías deberá ser mayor al diámetro de la boca de la bomba.
- Cuando la bomba está ubicada sobre el nivel de agua es necesario tomar en cuenta el desnivel entre la bomba y el nivel mismo del agua para evitar la cavitación (vibración producida por la bolsa de vapor).

2.3.4.2. SISTEMA DE BOMBEO

Este sistema es el encargado de transportar el agua desde un punto determinado a un punto más alto mediante tubería, para poder escoger una bomba adecuada es necesario conocer la potencia requerida, las pérdidas que van a existir en el sistema, la altura a la que se desea subir el agua, el caudal necesario y la velocidad del flujo.

2.3.4.2.1. BOMBAS Y SUS TIPOS

Son máquinas que se encargan de aumentar la energía de una masa líquida aplicando una fuerza y produciendo elevación, aumento de presión, aumento de velocidad o combinando estas tres (Poza, 2020). En los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia las bombas más utilizadas son las siguientes: centrífuga, sumergible y periférica.

- **ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA**

Son bombas que impulsa el líquido mediante el movimiento de una fuerza centrífuga, alcanza alturas manométricas de 76 m, con caudales de $900 \frac{L}{min}$ y se utiliza usualmente en el riego y uso doméstico. La Figura 2.3 muestra una bomba centrífuga.

Figura 2.3 Bomba centrífuga



Fuente: (Poza, 2020)

- **BOMBAS SUMERGIBLES**

Son bombas que tienen gran capacidad de elevación de hasta 112m con un caudal de $180 \frac{L}{min}$, debido a que no dependen de la presión externa. Son empleadas en la industria y uso doméstico para la extracción de agua en pozos, cisternas etc. La Figura 2.4 muestra distintos tipos de bombas sumergibles.

Figura 2.4 Bomba sumergible



Fuente: (Poza, 2020)

- **BOMBAS PERIFÉRICAS**

Son bombas que transportan caudales de $90 \frac{L}{min}$ a alturas manométricas de 100 m y resultan económicamente más accesibles. La Figura 2.5 muestra una bomba periférica.

Figura 2.5 Bomba periférica



Fuente: (Poza, 2020)

2.3.4.3. AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

Al descargar el agua del inodoro, la bomba debe encenderse para hacer llegar agua hasta el tanque del sanitario, pero si las lluvias no han sido suficientes y el tanque de almacenamiento se encuentra vacío, la bomba no debe encenderse, caso contrario esta se dañaría, motivo por el cual, es necesario automatizar el sistema de bombeo que garantice el encendido y apagado automático. Para la automatización se necesita un tanque hidroneumático, un sensor del nivel de agua conectado a un contactor y un switch.

2.3.4.3.1. TANQUE HIDRONEUMÁTICO

El tanque hidroneumático es un recipiente cerrado de hierro que almacena agua, al cual se le inyecta aire a presión. Ayuda a que la bomba no se sobrecaliente, ya que previene que se encienda con descargas mínimas. Permite que el agua salga a una presión y flujo adecuado (Ideal, 2014). En la Figura 2.6 se puede observar el tanque hidroneumático junto con una bomba.

Figura 2.6 Sistema de tanque hidroneumático y bomba



Fuente: (Pedrollo, 2020)

2.3.4.3.2. SENSOR DE NIVEL DE AGUA.

Es un dispositivo electrónico que mide la altura de un líquido dentro de un recipiente e indica cuando este se encuentra lleno, vacío o a una altura establecida. En los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia es común el uso del sensor de flotador ((Leal, 2014).

- **SENSOR DE FLOTADOR**

Este sensor es el más utilizado debido a su precio y accesibilidad, está constituido por un flotador unido a un cable y un contrapeso o a una columna magnética. La Figura 2.7 muestra un sensor de nivel tipo flotador.

Figura 2.7 Sensor de nivel de agua tipo flotador



Fuente: (Damia Solar, 2020)

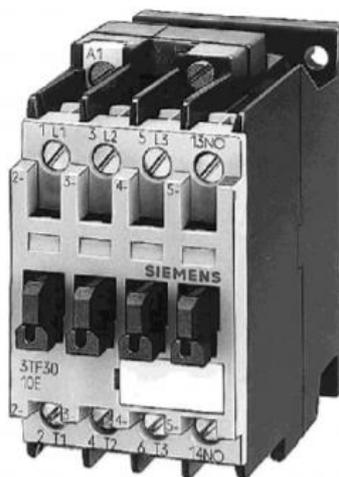
2.3.4.3.3. CONTACTOR

Es un interruptor controlado eléctricamente, encargado de cambiar el flujo de corriente que va hacia una carga específica (Figura 2.8) (Vilches, s,f).

Para elegir el contactor adecuado se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- La tensión de alimentación de la bobina, esta puede ser continua o alterna siendo las más usuales 12V 24V o 220V.
- Corriente permanente y de arranque del motor.

Figura 2.8 Contactor



Fuente: Vilches, s,f

2.3.5. FILTROS

Una parte esencial en el tratamiento de la calidad del agua lluvia son los filtros, estos varían de acuerdo con el caudal recolectado, el espacio, el tamaño de los sólidos, el uso final del agua, y el costo que se desea invertir para evitar taponamientos y tratamientos de desinfección cumpliendo con criterios de mantenimiento, limpieza y caducidad (Alder, Carmona, & Bojalil, 2008).

En los sistemas de aprovechamiento de agua los filtros son colocados en los distintos subsistemas, dependiendo del diámetro del sólido.

2.4.FACTIBILIDAD FINANCIERA

La factibilidad financiera es una evaluación técnica y económica de la circulación de recursos, que permite conocer si se genera utilidades o ganancias a corto, mediano y largo plazo, para saber si el proyecto evaluado es o no factible (Bedoya & Loaiza, 2011).

2.4.1. INGRESOS

Los ingresos son los valores que recibe la empresa, en el caso de la implementación de un proyecto de ahorro de agua, es la reducción en el pago de la factura de consumo de agua potable.

2.4.2. INVERSIONES

La inversión es el presupuesto referencial que determina el costo total de la implementación del sistema de aprovechamiento de agua lluvia.

2.4.3. COSTOS FIJOS

Todo sistema requiere un mantenimiento periódico para garantizar su vida útil, esto se lo conoce como costos fijos y son adicionales a la inversión.

2.4.4. INDICADORES FINANCIEROS

Nos muestran el flujo de fondos que permiten la evaluación de la rentabilidad del sistema. Un sistema es rentable siempre y cuando cumpla con los siguientes requisitos.

- TIR, el valor debe ser positivo.
- VAN, el valor debe ser positivo.
- PRI, debe ser menor que el periodo de evaluación del proyecto o la vida útil del mismo.
- Relación Costo – Beneficio, debe ser mayor a uno.

2.4.4.1. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Es la tasa de interés con la cual el VAN = 0, de acuerdo con un cálculo de flujo de caja anual, aplicando una tasa de descuento. Si el TIR resultante es igual o superior

a la tasa exigida por el inversor, es aconsejable realizar el proyecto. De lo contrario con un TIR menor a la tasa de descuento, el proyecto se rechaza.

2.4.4.2. VALOR PRESENTE NETO (VAN)

Es un indicador que mide los flujos de ingresos y egresos futuros que tendrá un proyecto para determinar si luego de la inversión inicial queda una ganancia.

2.4.4.3. PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN (PRI)

Se define como el tiempo que se requiere para la recuperación de una inversión, es decir la cantidad de periodos que han de transcurrir para que la acumulación de los flujos de efectivo iguale a la inversión inicial.

2.4.4.4. RELACIÓN COSTO-BENEFICIO

Esta relación permite analizar la viabilidad del proyecto y depende de la relación entre los ingresos del proyecto y su respectiva inversión.

Si $\frac{B}{C} > 1$, el proyecto es viable.

Si $\frac{B}{C} = 1$, el proyecto puede o no ser viable.

Si $\frac{B}{C} < 1$, el proyecto no es viable.

CAPITULO 3. METODOLOGÍA

Este proyecto técnico experimental fue realizado en tres etapas; la primera consistió en definir los criterios de diseño del sistema de aprovechamiento de agua lluvia para una vivienda modelo en la zona de estudio, de acuerdo con normas técnicas, anuarios meteorológicos, censo poblacional y muestreo *in situ* del agua, para conocer la capacidad del tanque de almacenamiento; la segunda etapa consistió en diseñar los componentes de acuerdo a los criterios establecido anteriormente para establecer la eficiencia de remoción de sólidos en sistema y la tercera etapa consistió en la construcción de un prototipo de acuerdo con las características establecidas en la etapa 1 y 2, puesta en marcha, operación, y monitoreo del prototipo para conocer la factibilidad financiera del sistema.

Finalmente, se llevó a cabo una evaluación de factibilidad financiera para el sistema, tomando en cuenta todos los insumos requeridos, mantenimiento y mano de obra.

3.1.CRITERIOS DE DISEÑO HÍDRICO

Una vez analizada la información obtenida en los apartados 1.1, 2.1 y 2.2 y se procedió a establecer las características técnicas de una vivienda y la precipitación total del periodo (1990-2018), para obtener el área útil, volumen de captación, la demanda de agua en el inodoro y la calidad del agua.

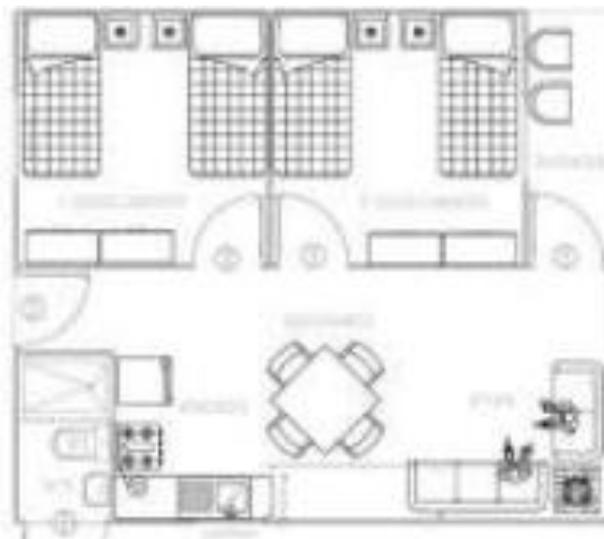
3.1.1. ÁREA ÚTIL DE CAPTACIÓN

De acuerdo con el INEC (2010), el techo de la mayoría de las viviendas en la zona rural es de asbesto (Eternit, Eurolit); debido a la diversidad de modelos de viviendas que existe en el país, para obtener el área específica se tomó las dimensiones de un modelo de viviendas proporcionadas por el MIDUVI para la región sierra

Estas viviendas cuentan con un área de terreno es de 7,5m x 8,8m y un excedente de aproximadamente 20 cm a cada lado por el Eternit, la superficie de captación

será un rectángulo de 7,9 m x 9,2m es decir tendrá un área de 72,68 m², esto es necesario para conocer el volumen de agua lluvia que podrá ser captado en el área útil como se indica en la Figura 3.1.

Figura 3.1 Modelo de vivienda tipo “Sierra - Oriente 2”



Fuente: (MIDUVI, 2018)

3.1.2. VOLUMEN DE CAPTACIÓN

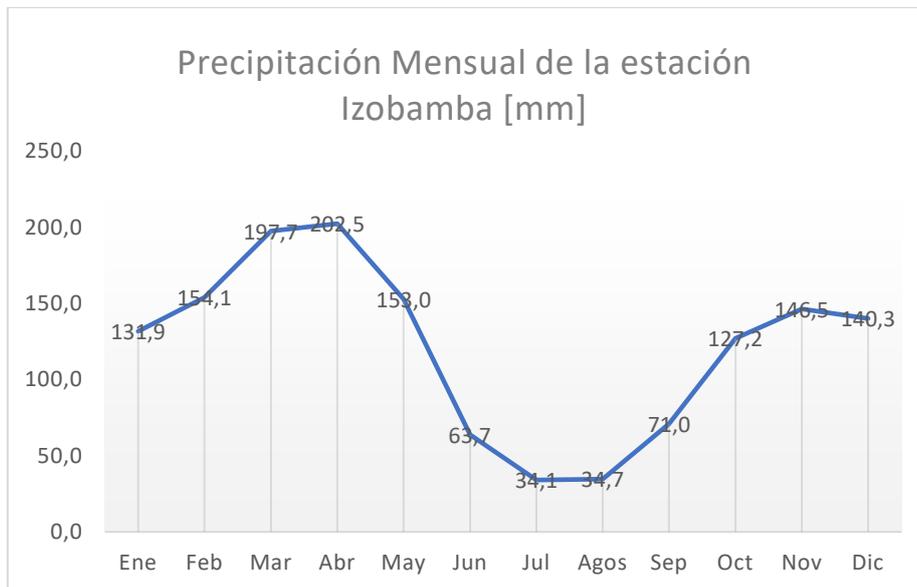
Para determinar el volumen de captación es necesario conocer los valores promedios mensuales de precipitación del área de estudio. Se tomó los datos hidrometeorológicos registrados por la estación Izobamba (M0003), por ser la más próxima al lugar de estudio; obteniendo los valores mostrados en la Tabla 3.1, coeficiente de escorrentía indicado en el anexo 1.1 y el área útil de captación indicado en el numeral anterior.

Tabla 3.1 Precipitación promedio mensual de la estación Izobamba

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Ppi	131,9	154,1	197,7	202,5	156	63,7	34,1	34,7	71	127,2	146,5	140,3
[mm]	1											

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

A continuación, los resultados de forma gráfica, mostrando los valores promedios mensuales de precipitación de la estación Izobamba en el periodo 1990-2018.

Figura 3.2 Precipitación media mensual. Estación Izobamba

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

En la Figura 3.2 se observa que los datos recopilados en la Estación Izobamba muestran que el pico más grande se encuentra en el mes de abril, con una precipitación promedio de 202,5 mm, mientras que el pico más bajo está en el mes de julio con 34,1 mm, adicional a esto, existen dos periodos lluviosos en el año, comprendidos entre los meses febrero-mayo y octubre-diciembre y un período seco, comprendido entre junio-septiembre.

Para obtener el volumen de agua lluvia captada en el techo de la vivienda se aplica la ecuación 3.1.

Ecuación 3.1 Volumen de agua lluvia captada

$$V_u = P_{pi} * C_e * A_c$$

Donde: V_u : volumen de agua lluvia captada [L]

P_{pi} : precipitación promedio mensual de los años evaluados [mm]

C_e : coeficiente de escorrentía [adimensional]

A_c : área útil de captación [m^2]

El anexo 1.1 muestra que el coeficiente de escorrentía (C_e) para el concreto o asfalto es de 0,7-0,95, debido que el Eternit en su mayoría está compuesto de cemento, se tomó el valor promedio de 0,83 para el desarrollo de los cálculos respectivos.

Se aplicó la ecuación 3.1 para conocer el volumen del agua lluvia, para el mes de ENERO se tiene el siguiente cálculo:

$$V_{ll} = 131,9 \text{ mm} * 0,83 * 72,68 \text{ m}^2 = 7956,79 \text{ L}$$

Por lo tanto, al calcular los valores para los meses restantes se tiene la Tabla 3.2:

Tabla 3.2 Volumen mensual de agua lluvia captada

Mes	Ppi [mm]	Ce	Ac [m ²]	V _{ll} [L]	V _{ll} [m ³]
Enero	131,9	0,83	72,68	7956,79	7,96
Febrero	154,1	0,83	72,68	9295,99	9,3
Marzo	197,7	0,83	72,68	11926,13	11,93
Abril	202,5	0,83	72,68	12215,69	12,22
Mayo	153	0,83	72,68	9229,63	9,23
Junio	63,7	0,83	72,68	3842,66	3,84
Julio	34,1	0,83	72,68	2057,06	2,06
Agosto	34,7	0,83	72,68	2093,26	2,09
Septiembre	71	0,83	72,68	4283,03	4,28
Octubre	127,2	0,83	72,68	7673,26	7,67
Noviembre	146,5	0,83	72,68	8837,52	8,84
Diciembre	140,3	0,83	72,68	8463,51	8,46

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

En la Tabla 3.2 se visualiza que en el mes de abril se capta la mayor cantidad de agua lluvia debido a que, en este mes la pluviosidad es mayor, mientras que en el mes de julio con una pluviosidad mínima, la captación es de 2,06m³, correspondiente al pico de la época seca del año.

3.1.3. DEMANDA DE AGUA EN EL INODORO

Para determinar la demanda total de agua del inodoro es necesario conocer el número de habitantes por vivienda, tipo de inodoro a utilizarse, el volumen de agua utilizado en su descarga y la frecuencia de uso sanitario. Se determinó la demanda de agua mediante la ecuación 3.2, recomendada por la guía de diseño para la captación del agua lluvia.

Ecuación 3.2 Demanda de agua total mensual del inodoro

$$D_i = N_u * N_d * Q_i$$

Donde: **D_i** : demanda de agua total mensual del inodoro $\left[\frac{L}{mes}\right]$
 N_u : número de personas que viven en la casa [*hab*]
 N_d : número de días en el mes [*d*]
 Q_i : caudal total del inodoro $\left[\frac{L}{hab * d}\right]$

Según el INEC (2010) en la zona rural, existen entre 3 y 4 personas por vivienda, por lo que, se empleó el valor de 4 habitantes promedio por casa. Cada persona utiliza el inodoro un promedio de 4 veces al día, de las cuales: 3 son para desechar líquidos y 1 para sólidos (Villa, 2015). Se utilizó esta información para el cálculo del caudal total de los inodoros mediante la ecuación 3.3.

Ecuación 3.3 Caudal total de inodoros

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

Donde: **Q_i** : caudal total de inodoros $\left[\frac{L}{hab * d}\right]$
 V : volumen de agua que requiere cada inodoro para funcionar [*L*]
 t : tiempo [*d*]
 N : número de veces que una persona utiliza el inodoro al día $\left[\frac{veces}{hab}\right]$

De acuerdo con la NTE - INEN 1569 “Artefactos Sanitarios” los tipos de inodoros que se encuentran en el mercado, se muestran en la Tabla 3.3 siendo el más utilizado el de bajo consumo:

Tabla 3.3 Volumen de agua total requerido según el tipo de inodoro

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

Fuente: (NTE-INEN, 2015)

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

Se aplicó la ecuación 3.3, para conocer el caudal que utiliza el inodoro de bajo consumo:

$$Q = \frac{4}{\text{hab}} * 6,2L = 24,8 \frac{L}{\text{hab} * d}$$

Una vez obtenido el caudal total, se aplicó la ecuación 3.2 para el mes de ENERO:

$$Di = 4 \text{ hab} * 31d * 24,8 \frac{l}{\text{hab} * d} = 3075,2L$$

Se utilizó la misma ecuación para los meses restantes mostrando los resultados en la Tabla 3.4 e indicando que la demanda mensual del inodoro varía en función de los días que tenga el mes, aunque la variación es mínima entre 2,98m³ y 3,08m³.

Tabla 3.4 Demanda de agua total mensual del inodoro

Mes	Días/Mes	Nº Usuarios	$Q_i \left[\frac{L}{\text{hab} * d} \right]$	Di [L]	Di [m ³]
Enero	31	4	24,8	3075,2	3,08
Febrero	28	4	24,8	2777,6	2,78
Marzo	31	4	24,8	3075,2	3,08
Abril	30	4	24,8	2976	2,98
Mayo	31	4	24,8	3075,2	3,08
Junio	30	4	24,8	2976	2,98
Julio	31	4	24,8	3075,2	3,08
Agosto	31	4	24,8	3075,2	3,08
Septiembre	30	4	24,8	2976	2,98
Octubre	31	4	24,8	3075,2	3,08
Noviembre	30	4	24,8	2976	2,98
Diciembre	31	4	24,8	3075,2	3,08

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

3.1.4. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

Los parámetros físicos y químicos que fueron medidos se utilizaron para el cálculo del Índice de Langelier, para establecer el material óptimo a usarse en la construcción del prototipo.

La muestra fue recolectada del escurrimiento de los techos, preservada a 4°C en envases herméticos y trasladada al Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA) para los respectivos análisis.

La Tabla 3.5 muestra los parámetros, métodos y equipos empleados para analizar las muestras de agua lluvia.

Tabla 3.5 Métodos y equipos para determinar parámetros físicos y químicos

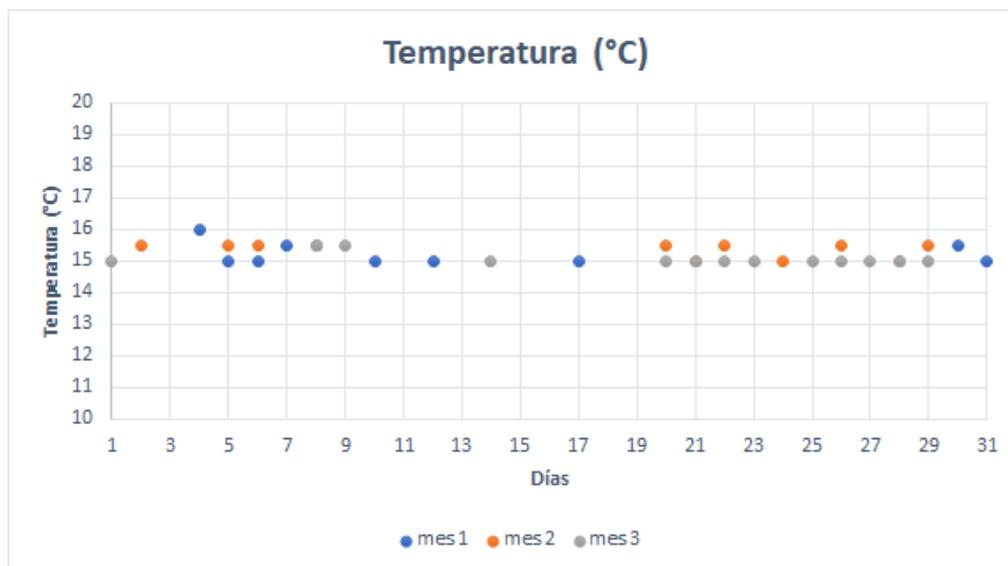
Parámetro	Método	Equipo
Temperatura		
pH	APHA 4500-H	
Conductividad	APHA 2510 B	
Turbiedad	APHA 2130 B	
Dureza	APHA 2340 C	
Alcalinidad	APHA 4500 D	
Sólidos Sedimentables	APHA 2240 F	

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

3.1.4.1. TEMPERATURA

La temperatura de las precipitaciones puede variar dependiendo del lugar y la hora, se presentan los valores de temperatura medidos *in situ* en el anexo 2.1 y graficados en la Figura 3.3.

Figura 3.3 Temperatura del agua lluvia



Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

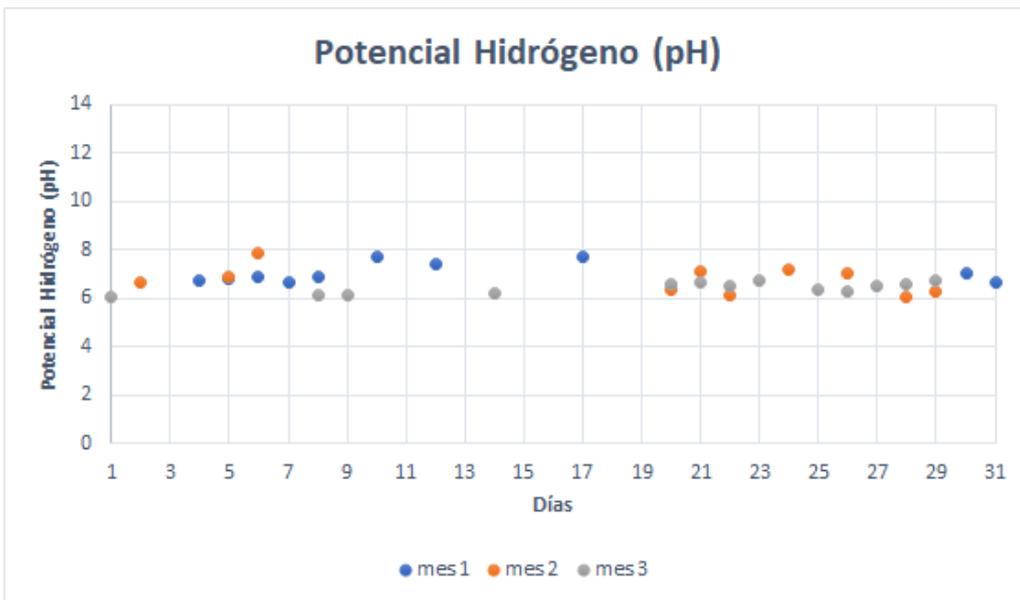
En la Figura 3.3 se observa que la temperatura del agua lluvia se encuentra entre 15°C y 16°C, esto se debe a que los eventos se dieron en su mayoría en las tardes y noches, además, en el anexo 2.1, se muestra que la temperatura media de cada uno de los meses de monitoreo varía en +/-0,2, siendo la media de los tres meses de muestreo 15,2°C.

3.1.4.2. POTENCIAL HIDRÓGENO

Los valores medidos de pH en cada una de las muestras se corroboraron mediante tiras de medición de pH *in situ* y debido a que estas no son exactas, se procedió a la aplicación del método APHA 4500-H en el LDIA, llegando a tener los valores mostrados en el anexo 2.2.

En la Figura 3.4 se muestra que el pH del agua se encuentra entre valores de 6 a 8, teniendo la mayoría de los resultados cercanos a 7, además, en el anexo 2.2, se observa que la media de cada uno de los meses varía en +/- 0,4, con un promedio de 6,8, es decir, la lluvia tiene carácter neutro.

Figura 3.4 pH del agua lluvia

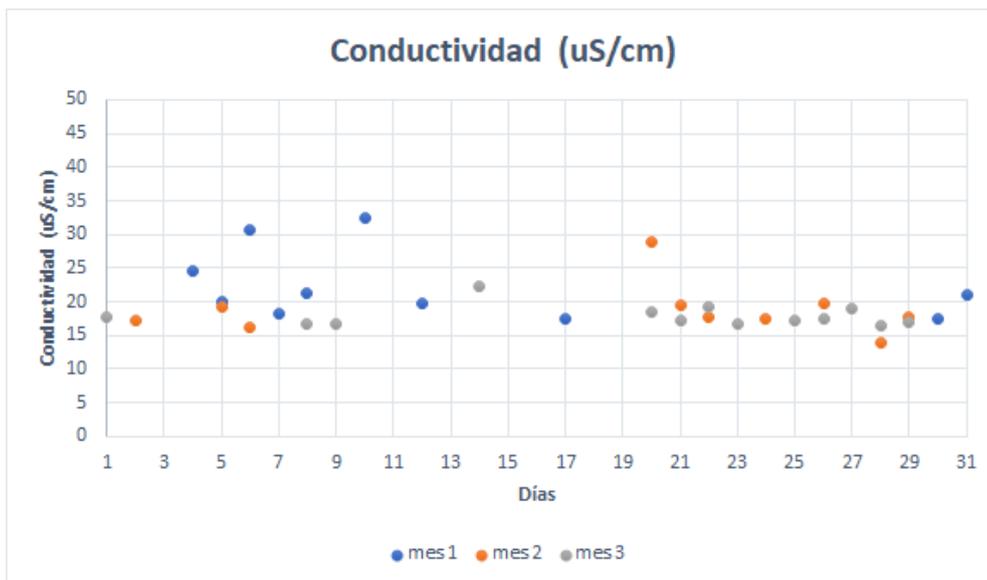


Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

3.1.4.3. CONDUCTIVIDAD

La conductividad del agua lluvia se la realizó mediante el método APHA 2510 B, en el LDIA, con un conductímetro marca Hanna, llegando a tener los valores indicados en el anexo 2.3 y en la Figura 3.5.

Figura 3.5 Conductividad del agua lluvia



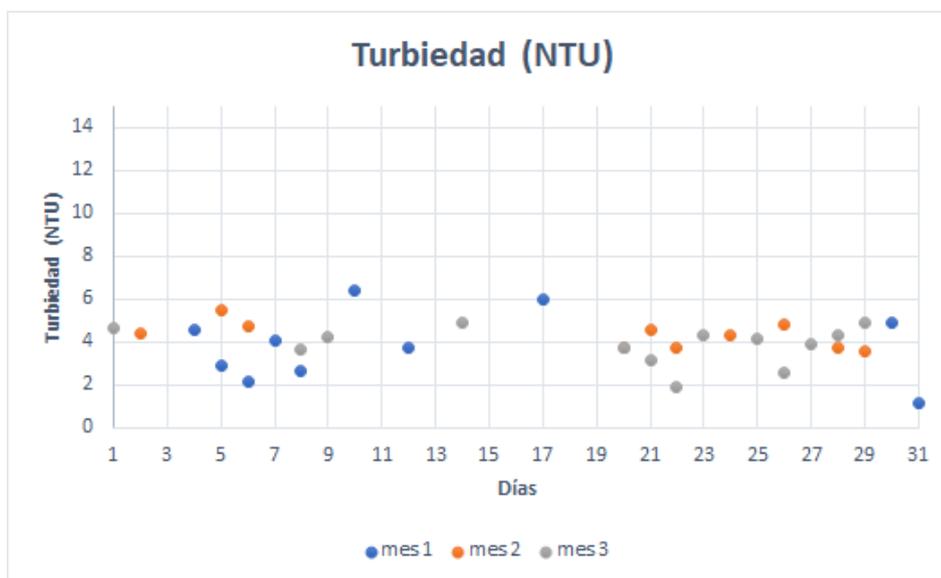
Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

En el Figura 3.5 se muestra que la mayoría de los resultados de la medición de conductividad se encuentran entre 15 y 20 $\frac{\mu S}{cm}$, teniendo picos altos de 32,4 $\frac{\mu S}{cm}$ y bajos de 14 $\frac{\mu S}{cm}$, además, en el anexo 2.3, se muestra que la media de los resultados es de 19,6 $\frac{\mu S}{cm}$, lo que indica poca presencia de sales disueltas.

3.1.4.4. TURBIEDAD

La turbiedad del agua lluvia se la midió mediante un turbidímetro portátil, 2100p, marca HACH, arrojando los valores mostrados en el anexo 2.4 y la Figura 3.6.

Figura 3.6 Turbiedad del agua lluvia



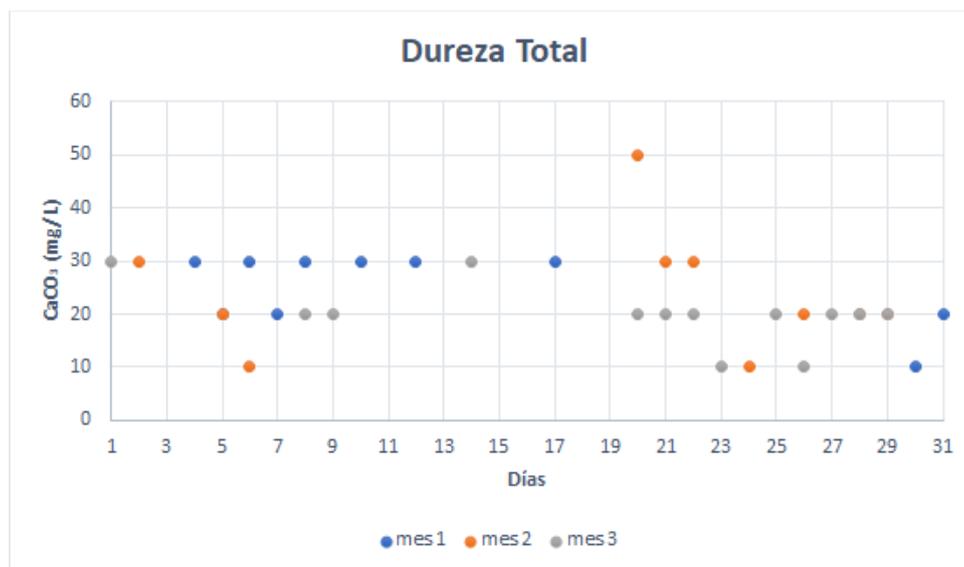
Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

En la Figura 3.6 se observa que los valores de turbiedad están entre 1 NTU y 6 NTU y en el anexo 2.4, se muestra que el valor promedio es de 4 NTU, esto se debe a que al caer la lluvia es “transparente” pero esta, atrapa material particulado disperso en el ambiente, además, las distintas superficies en las que se escurre, también acumulan sedimentos que son arrastrados por la escorrentía, por lo que la muestra de agua tendrá un turbidez relativamente baja.

3.1.4.5. DUREZA TOTAL

La medición de la dureza total del agua lluvia se la realizó siguiendo el método APHA 2340 C mediante titulación con EDTA 0,01M y se obtuvo los valores mostrados en la Figura 3.7.

Figura 3.7 Dureza total del agua lluvia



Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

En la Figura 3.7 muestra que los valores de dureza total están entre $10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ y $30 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$, teniendo un valor atípico de $50 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$, además, en el anexo 2.5 se observa que la media es de $23 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$, lo que indica que el agua lluvia es blanda.

3.1.4.6. ALCALINIDAD

Para obtener valores de alcalinidad se procedió a aplicar el método APHA 4500 D, titulando la muestra con ácido sulfúrico 0,02N obteniendo valores indicados en el anexo 2.6.

La Figura 3.8 indica que los valores de alcalinidad están en su mayoría entre $10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ y $15 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$, además, el anexo 2.6 muestra que el valor promedio de la alcalinidad es de $12 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$, que es un valor bajo propio para aguas naturales, lo que indica que el

agua es muy sensible a la contaminación debido a que no tiene capacidad para amortiguar cambios en el pH.

Figura 3.8 Alcalinidad del agua lluvia



Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

3.1.4.7. SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Para obtener los valores de sólidos sedimentables se procedió a tomar la muestra de 1 litro en dos periodos en el año, uno en la época lluviosa y otro en la seca, durante dos meses consecutivos cada uno, se aplicó el método APHA 2240 F, mediante conos Imhoff y se obtuvo los valores mostrados en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Sólidos sedimentables del agua lluvia

Sólidos Sedimentables (mL)																																	
MESES ÉPOCA LLUVIOSA																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Med	
Mes 1					0,9	0,3						0,7	0,1	0,1	0,1						2,0	1,1	0,6		0,3		0,4		0,5	0,2			0,56
Mes 2	0,3					1,5															1,2			0,1		0,7	0,5	0,1	0,2	0,1			0,67
																																0,61	
MESES ÉPOCA SECA																																	
Mes 1			0,7			1,4	0,6						1,8	0,1					1,5	0,2						0,8	0,2				0,7	0,80	
Mes 2	1,9				1,5	0,2	0,4			1,8							0,7					0,4	0,1						0,5			0,83	
																																0,81	

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

La Tabla 3.6 muestra los sólidos sedimentables en dos épocas del año teniendo una media de 0,61mL en la época lluviosa, mientras que en la época seca es de

0,81mL, evidenciando que existe mayor cantidad de sólidos sedimentables en la época seca del año.

3.1.4.8. ÍNDICE DE LANGELEIER

Con los parámetros indicados en el anexo 2, se procede a evaluar las características incrustantes o corrosivas del agua, usando la ecuación 2.3 y la calculadora (LENNTECH, 2020).

Las Figuras 3.8 y 3.9 muestran los parámetros requeridos por la calculadora Lenntech On-Line y los resultados que esta arroja, indica sería corrosión, debido a las concentraciones bajas de dureza y alcalinidad, ocasionando que pueda existir fluctuaciones en el pH exponiendo el agua a la contaminación. Cabe mencionar que este sistema es muy tajante respecto a la variación del pH.

Figura 3.9 Ejemplo de cálculo - Calculadora Lenntech

pH	6.8 *	
Conductividad en SDT	19.6 *	mg/L ▼
[Ca ²⁺]	23 *	mg/L ▼
[HCO ₃ ⁻]	12 *	mg/L ▼
Temperatura agua	15.2 *	grados °C ▼

Fuente: (LENNTECH, 2020)

Figura 3.10 Resultados de la calculadora Lenntech

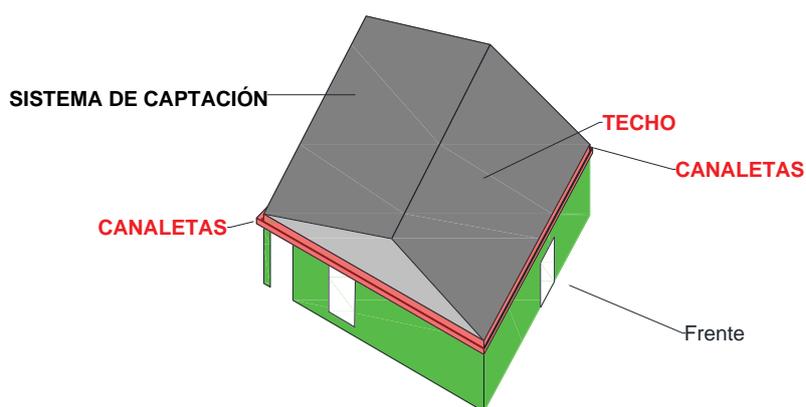
pH _s	9.2
ISL	-2.4
Indicación basada en Langelier (1936)	Water is undersaturated with respect to calcium carbonate. Undersaturated water has a tendency to
Indicación basada en Langelier mejorado por Carrier (1965)	Serious corrosion

Fuente: (LENNTECH, 2020)

3.2.DISEÑO DE COMPONENTES DEL SISTEMA

3.2.1. SUBSISTEMAS DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN

Para el diseño de este subsistema es necesario conocer el área de captación, la dirección de caída del agua y el caudal máximo. La Figura 3.11 indica el sistema de captación junto con las canaletas ubicadas de acuerdo con la caída del techo.

Figura 3.11 Sistema de captación y canaletas

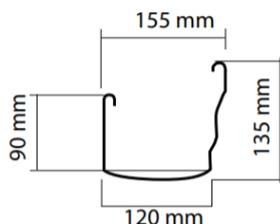
Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

En el apartado 3.1.1, se indica que el área de captación es de 72,68 m² y de acuerdo con Figura 3.11 el agua caerá por dos lados de la casa, la mitad del techo

va a alimentar a una canaleta y la mitad restante a la otra, por tanto, cada canaleta tendrá un área de captación de 36,34 m².

Para hallar el área transversal y el perímetro mojado se usó el modelo de canaleta tipo J que pueden variar en materiales de acuerdo con la oferta en el mercado y costo; La Figura 3.12 muestra las dimensiones de la canaleta.

Figura 3.12 Dimensiones de la canaleta; corte transversal



Fuente: (Plastigama, 2018)

El área transversal de la canaleta tipo J se la mide mediante la ecuación 3.4.

Ecuación 3.4 Área transversal de canaleta tipo J

$$A_t = m * y$$

Donde: A_t : área transversal [m²]
 m : base de la canaleta [m]
 y : altura de la pared más pequeña [m]

El perímetro mojado de la canaleta tipo J se la obtiene mediante la ecuación 3.5.

Ecuación 3.5 Perímetro mojado de canaleta tipo J

$$Pm = m + 2y$$

Donde: Pm : perímetro mojado [m]
 m : base de la canaleta [m]
 y : altura de la pared más pequeña [m]

Aplicando las ecuaciones 3.4 y 3.5 con las dimensiones ofrecidas en el mercado se tiene:

$$A_t = 12\text{cm} * 9\text{cm} = 108 \text{ cm}^2 = 0,0108 \text{ m}^2$$

$$P_m = 12\text{cm} + 2(9\text{cm}) = 30\text{cm} = 0,3\text{m}$$

Para el cálculo del caudal máximo que maneja cada canaleta, se utiliza el coeficiente de Manning (n) que es un valor que permite calcular el caudal en función de la rugosidad del material. De acuerdo con anexo 1.2 el coeficiente tiene un valor de 0,012 que corresponde a la superficie de acero revestido. Mediante la ecuación 3.6 se calcula el caudal que cada canaleta va a manejar, mientras que con la ecuación 3.7 se determina el radio hidráulico de esta.

Ecuación 3.6 Ecuación de Manning; caudal de la canaleta

$$Q = \frac{1}{n} * A_t * (R_h)^{\frac{2}{3}} * S_o^{0,5}$$

Donde: **Q**: caudal en canal abierto $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

n: coeficiente de Manning

A_t: área de la sección transversal $[m^2]$

R_h: radio hidráulico $[m]$

S_o: pendiente del canal

Ecuación 3.7 Radio hidráulico

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

Donde: **R_h**: radio hidráulico $[m]$

A_t: área ocupada por el fluido en el corte transversal $[m^2]$

P_m: perímetro mojado $[m]$

Se aplicó la ecuación 3.6 y 3.7 tomando en cuenta que debe existir una pendiente mínima de 0,005 (Despins, 2012).

$$R_h = \frac{0,0108 \text{ m}^2}{0,3 \text{ m}} = 0.036 \text{ m}$$

$$Q = \frac{1}{0,012} * 0,0108 \text{ m}^2 * (0,036)^{\frac{2}{3}} * 0,005^{0,5} = 0,00694 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Por tanto, el caudal que transporta cada canaleta es de $0,00694 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$. Para verificar que el agua no se va a desbordar, es necesario conocer el caudal que se produce en un día con una precipitación máxima mediante la ecuación 3.8.

Ecuación 3.8 Caudal en una precipitación máxima

$$Q_{\text{máx}} = \frac{V_{\text{máx}}}{t_p}$$

Donde: $Q_{\text{máx}}$: caudal máximo en un evento $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right]$
 t_p : tiempo de duración de la precipitación [s]
 $V_{\text{máx}}$: volumen máximo de agua captada $[\text{m}^3]$

El volumen máximo que puede ser captado en la superficie del techo de una vivienda se la calcula mediante la ecuación 3.9.

Ecuación 3.9 Volumen máximo de agua captada

$$V_{\text{máx}} = P_{\text{máx}} * A_{cc}$$

Donde: $V_{\text{máx}}$: volumen máximo de agua captada [L]
 $P_{\text{máx}}$: precipitación máxima [mm]
 A_{cc} : área de captación de la canaleta $[\text{m}^2]$

En el anexo 5.1 se muestra las máximas precipitaciones en el período 1990 – 2018 de la estación Izobamba. La mayor precipitación se dio el 29 de marzo de 2009, de acuerdo con los anuarios meteorológicos del INAMHI, teniendo un valor de 84,5 mm ($P=84,5 \text{ mm}$) y una duración de 2 horas, es decir 7200 segundos ($t_p = 7200\text{s}$), aplicando las ecuaciones 3.8 y 3.9 se tiene que:

$$V_{\text{máx}} = 84,5\text{mm} * 36,34 \text{ m}^2 = 3070,73 \text{ L} = 3,07 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{máx}} = \frac{3,07 \text{ m}^3}{7200 \text{ s}} = 0,000426 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Se observa que el caudal que puede transportar la canaleta es mayor al caudal que se puede producir en un evento máximo ($Q < Q_{m\acute{a}x}$), por lo que el tamaño de la canaleta es el adecuado para la cantidad de agua lluvia que será transportado.

Al momento de ir a reconocer el lugar de la zona de estudio se evidenció, que la mayoría de las casas son de dos pisos, como se muestra en la Figura 3.13, por lo que se procedió a realizar un diseño para viviendas de dos pisos.

Figura 3.13 Casas en la zona de estudio



Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

3.2.2. SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO

De acuerdo con los planos de la vivienda y la disposición de las bajantes se procede a la ubicación de los tanques de agua (interceptor de primeras aguas y almacenamiento), tomando en cuenta que existirán filtros en este subsistema.

3.2.2.1. TANQUE INTERCEPTOR DE PRIMERAS AGUAS

Según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2004), para determinar el volumen de este tanque, es necesario considerar el lavado de la cubierta donde se consume un litro por metro cuadrado, es decir una altura de 1mm de agua. La ecuación 3.10 indica cómo calcular el volumen del tanque interceptor de primeras aguas.

Ecuación 3.10 Volumen del interceptor de primeras aguas

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

Donde: V_{pa} : volumen del interceptor de primeras aguas [m^3]

A_c : área de captación del agua lluvia [m^2]

h : altura del agua para el lavado [m]

$$V_{pa} = \frac{72,68 \text{ m}^2 * 1 \text{ mm}}{1000} = 0,07268 \text{ m}^3 = 72,68 \text{ L}$$

Por lo tanto, para el lavado de la cubierta se necesita un tanque interceptor de 72,68 L, se utiliza el tanque que más se acerca al valor requerido de acuerdo con la oferta del mercado.

3.2.2.2. TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Para determinar el volumen del tanque de almacenamiento es necesario conocer los valores promedios diarios del volumen de agua lluvia disponible después de pasar por el tanque de primeras aguas como se muestra en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Volumen diario de agua disponible

Mes	Días	V_{ll} [m^3]	V_{ll} diario [m^3]	V_{pa} [m^3]	$V_{disponible}$ diario [$\frac{m^3}{d}$]
Ene	31	7,96	0,26	0,072	0,18
Feb	28	9,3	0,33	0,072	0,26
Mar	31	11,93	0,38	0,072	0,31
Abr	30	12,22	0,41	0,072	0,33
May	31	9,23	0,30	0,072	0,23
Jun	30	3,84	0,13	0,072	0,06
Jul	31	2,06	0,07	0,072	-0,01
Ago	31	2,09	0,07	0,072	-0,01
Sep	30	4,28	0,14	0,072	0,07
Oct	31	7,67	0,25	0,072	0,17
Nov	30	8,84	0,29	0,072	0,22
Dic	31	8,46	0,27	0,072	0,2

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

En la Tabla 3.7 se observa que en los meses de julio y agosto existen valores negativos, esto implica que puede existir un déficit de agua, dependiendo de qué

tan seguido se den las precipitaciones y de la intensidad de estas, ocasionando solo el llenado del tanque de primeras aguas cubriendo el volumen de agua necesario para lavar la techada.

Para la determinación del volumen del tanque de almacenamiento es necesario conocer la diferencia entre la demanda de agua y el volumen de agua disponible (Oferta- Demanda), tomando en cuenta el valor máximo positivo y el máximo negativo como se indica en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Volumen del tanque de almacenamiento

Mes	Días	D _i [L]	D _{diaria} [L]	V _{disponible diario} [$\frac{m^3}{d}$]	Oferta - Demanda	Valor máx positivo	Valor máx negativo
Ene	31	3,07	0,1	0,18	0,08		
Feb	28	2,78	0,1	0,26	0,16		
Mar	31	3,07	0,1	0,31	0,21		
Abr	30	2,98	0,1	0,33	0,24	0,24	
May	31	3,07	0,1	0,23	0,13		
Jun	30	2,98	0,1	0,06	-0,04		
Jul	31	3,07	0,1	-0,01	-0,11		0,11
Ago	31	3,07	0,1	-0,01	-0,10		
Sep	30	2,98	0,1	0,07	-0,03		
Oct	31	3,07	0,1	0,17	0,08		
Nov	30	2,98	0,1	0,22	0,12		
Dic	31	3,07	0,1	0,2	0,10		
VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO [m³]						0,35	

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

Resulta idóneo un tanque a nivel del suelo, ya que la superficie de captación no es la adecuada para colocar un tanque elevado y el uso de un tanque subterráneo implica costos adicionales de construcción. En el mercado existen tanques de 250, 500 y 1000 litros como se puede observar en el Anexo 3.3.

3.2.3. SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

La red de distribución se basa en el bombeo de agua desde el tanque de almacenamiento hasta el inodoro mediante una bomba automatizada y tuberías,

para lo cual es necesario conocer la potencia de la bomba en función del caudal y la altura dinámica

3.2.3.1. CAUDAL DE LA TUBERÍA

Para el cálculo del caudal de la tubería es necesario conocer el volumen de agua y el tiempo de llenado que son de 6,2 L y 15 segundos respectivamente y se calcula mediante la ecuación 3.11:

Ecuación 3.11 Caudal del flujo en la tubería

$$Q = \frac{V_i}{t}$$

Donde: **Q**: caudal de la tubería $\left[\frac{L}{s}\right]$

V_i : volumen de agua en el tanque del inodoro [L]

t: tiempo de llenado del tanque del inodoro [s]

$$Q = \frac{6,2L}{15 s} = 0,62 \frac{L}{s} = 0,00062 \frac{m^3}{s}$$

3.2.3.2. ALTURA DINÁMICA TOTAL (TDH)

La carga dinámica total de bombeo hace referencia a todos impedimentos que necesita vencer el líquido para llegar a su destino y va en función de las pérdidas, velocidad del flujo y presiones. Se calcula mediante la ecuación 3.12.

Ecuación 3.12 Ecuación de Bernoulli

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

Donde: **TDH**: altura dinámica total [m]

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

h_t : pérdidas (carga fricción y accesorios) que sufre el sistema [m]

v: velocidad del fluido $\left[\frac{m}{s}\right]$

g: constante gravitacional $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

hr: presión residual [m] → (10 m.c.a)

3.2.3.2.1. CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN TUBERÍAS

El cálculo de pérdidas en la tubería (fricción y por accesorios) es recomendable realizarla en dos tramos: succión y descarga

- **PÉRDIDAS POR FRICCIÓN**

Estas pérdidas se deben al rozamiento que realiza el fluido con las paredes del conducto, pueden ser considerables en tramos largos y despreciables en tramos pequeños. Estas pérdidas se calculan mediante la ecuación 3.13.

Ecuación 3.13 Ecuación de Darcy-Weisbach

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde: **h_f**: pérdidas por fricción [m]

f: coeficiente de fricción del tramo

L: longitud de tubería [m]

v: velocidad del fluido $\left[\frac{m}{s}\right]$

∅: diámetro de la tubería [m]

g: constante gravitacional $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

Para el cálculo del coeficiente de fricción del tramo es necesario conocer el número de Reynolds el cual permite conocer si se tiene un flujo laminar o turbulento.

Re < 2000; flujo laminar

Re > 3000; flujo turbulento

El número de Reynolds se calcula mediante la ecuación 3.14.

Ecuación 3.14 Número de Reynolds

$$Re = \frac{vD}{\mu}$$

Donde: **Re**: número de Reynolds

μ : viscosidad cinemática $\left[\frac{m^2}{s}\right]$

v : velocidad del fluido $\left[\frac{m}{s}\right]$

\emptyset : diámetro de la tubería $[m]$

Para el cálculo de factor de pérdidas “ f ” de flujo turbulento, se utiliza el Diagrama de Moody – Rouse (anexo 1.2) el cual depende del valor de rugosidad absoluta y el número de Reynolds para obtener el valor del coeficiente de rozamiento. El factor de pérdidas “ f ” de flujo turbulento y la velocidad del flujo en la tubería se calcula mediante las ecuaciones 3.15 y 3.16.

Ecuación 3.15 Velocidad del flujo en la tubería

$$v = QA$$

Donde: **Q**: caudal de la tubería $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

v: velocidad del fluido en la tubería $\left[\frac{m}{s}\right]$

A: área transversal de la tubería $[m^2]$

$$v = \frac{0,00062 \frac{m^3}{s}}{0,000408 m^2} = 1,52 \frac{m}{s}$$

Ecuación 3.16 Factor de pérdida

$$\frac{\varepsilon}{D}$$

Donde: ε : rugosidad del material $[mm]$

\emptyset : diámetro de la tubería $[m]$

En el anexo 1.3 se muestra que el coeficiente de rugosidad absoluta es de 0,0015mm para acero, por tanto.

$$Re = \frac{1,52 \frac{m}{s} * 0,0228 m}{1,003 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 34552.34$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0015 mm}{22,8 mm} = 6,58 \times 10^{-5}$$

Aplicando las ecuaciones 3.14 y 3.16, se obtiene un flujo turbulento y de acuerdo con el diagrama de Moody – Rouse (anexo 1.2) el factor $f = 0,024$.

- **Pérdidas por fricción en la succión**

Para el cálculo de las pérdidas por fricción es necesario conocer la longitud que va a tener la tubería de carga que es de 0,895 m, esto se lo puede evidenciar en el Anexo 4.1, aplicando la ecuación 3.13:

$$h_f = 0,024 * \frac{0,895 m}{0,0228 m} * \frac{(1,52 \frac{m}{s})^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,11m$$

- **Pérdidas por fricción en la descarga**

Para el cálculo de estas pérdidas se tiene una longitud de tubería de descarga de 5,92 m, como se indica en el Anexo 4.1, por tanto:

$$h_f = 0,024 * \frac{5,92 m}{0,0228 m} * \frac{(1,52 \frac{m}{s})^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,73m$$

- **PÉRDIDAS DE CARGA POR ACCESORIOS**

Llamada también pérdidas menores, es ocasionada por la incorporación de accesorios en la tubería como válvulas, codos, uniones etc. (Castillo, 1993). Para el cálculo de estas pérdidas se utiliza la ecuación 3.17:

Ecuación 3.17 Pérdidas por accesorios

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

Donde: **haac**: pérdidas por accesorios [m]
k: factor del tipo de accesorio, adimensional
v: velocidad del fluido $\left[\frac{m}{s}\right]$
g: constante gravitacional $\left[\frac{m^2}{s^2}\right]$

El anexo 1.5 muestra el factor de pérdida de acuerdo con tipo de accesorio según el diámetro nominal (25mm) que tengan los accesorios.

- **Pérdidas de carga por accesorios en la succión**

Para el tramo de la succión el factor de carga va en función del número y tipo accesorio como se indica en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Accesorios en la succión y su factor

Accesorios	Cantidad	Km	Total
Válvula de pie	1	1,75	1,75
Unión Universal	1	0,30	0,30
Codo 90°	1	1,20	1,20
TOTAL			3,25

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

Aplicando la ecuación 3.17 para el tramo de succión se tiene:

$$h_{acc} = 3,25 * \frac{\left(1,52 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,38 \text{ m}$$

- **Pérdidas de carga por accesorios en la descarga**

De acuerdo con el tipo de accesorio, cantidad y el factor de cada uno se tiene la Tabla 3.10:

Tabla 3.10 Accesorios en la descarga y su factor

Accesorios	Cantidad	Km	Total
Válvula de compuerta	3	0,20	0,60
Codo 90°	5	1,20	6
Válvula check	1	2,70	2,70
Terminal HE	8	0,30	2,4
Tee	1	0,80	0,80
TOTAL			12,5

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

Al aplicar la ecuación 3.17 en el tramo de descarga se tiene:

$$h_{acc} = 12,5 * \frac{(1,52 \frac{m}{s})^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 1,47 \text{ m}$$

Para calcular el total de pérdidas en cada uno de los tramos se aplica la ecuación 3.18.

Ecuación 3.18 Pérdidas de carga totales

$$h_t = h_f + h_{acc}$$

Entonces, en el tramo de la succión se tiene:

$$h_t = 0,11 \text{ m} + 0,38 \text{ m} = 0,49 \text{ m}$$

Mientras que en el tramo de la descarga:

$$h_t = 0,73 \text{ m} + 1,47 = 2,2 \text{ m}$$

3.2.3.2.2. PRESIÓN RESIDUAL

La norma NEC-11 recomienda que la presión residual desde el depósito al inodoro más elevado sea de 7 m.c.a. (metros de columna de agua) considerando el inodoro, un nudo más en una instalación normal.

La altura geométrica de acuerdo al Anexo 4.1, se visualiza que es de 2,031 m por tanto:

$$TDH = 2,031 \text{ m} + 2,69 \text{ m} + \frac{(1,52 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 7\text{m} = 11,84 \text{ m}$$

3.2.3.3. POTENCIA DE LA BOMBA

Una vez determinados la altura dinámica total y el caudal se procede a aplicar la ecuación 3.19 para determinar la potencia de la bomba.

Ecuación 3.19 Potencia de la bomba

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

Donde: **P**: potencia de la bomba [HP]

Q: caudal máximo promedio [$\frac{L}{s}$]

TDH: altura dinámica total [m]

γ : peso específico del agua

n: eficiencia de la bomba, 60% - 70%, se usará 65%

$$P = \frac{0,62 \frac{L}{s} * 11,84 \text{ m} * 1}{75 * 0,65} = 0,15$$

La potencia de la bomba es de 0,15 HP y de acuerdo con las condiciones del mercado el valor más próximo es 0,5 HP. Se puede observar las características de la bomba en el Anexo 3.5.

3.2.3.4. AUTOMATIZACIÓN DE LA BOMBA

La automatización de la bomba se realizó con un sensor de nivel de agua de tipo flotador, un contactor de 110V, un switch de botón y un tanque hidroneumático.

3.2.3.4.1. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL TANQUE HIDRONEUMÁTICO

Para elegir el tanque hidroneumático adecuado para el tipo de bomba que se vaya a utilizar es necesario conocer su volumen.

Ecuación 3.20 Volumen del tanque hidroneumático

$$V = \frac{K * 0.312 * Q_m}{Z * \frac{P_a + P_b}{P_a - P_e}}$$

Donde: **V**: volumen del tanque hidroneumático [m^3]

K: factor de corrección = 1

Q_m: caudal media de la bomba (promedio de caudales máximos y mínimos) [$\frac{m^3}{h}$]

Z: ciclos de arranque [$\frac{1}{h}$]

P_a: presión máxima de la bomba [bar]

P_e: presión mínima de la bomba [bar]

P_b: Presión barométrica [bar]

La Norma Ecuatoriana de la Construcción, en el capítulo 16 correspondiente a la Norma Hidrosanitaria NHE Agua (NEC, 2011), establece que la potencia de la bomba va en función del número de ciclos de encendido y apagado para el motor-bomba como se muestra en el anexo 1.6. Tomando en cuenta las especificaciones de la bomba elegida se tiene los siguientes datos:

$$Q_e = 5 \frac{L}{min}$$

$$Q_a = 40 \frac{L}{min}$$

$$Q_m = \frac{40 + 5}{2} = 22.5 \frac{L}{min} = 1.35 \frac{m^3}{h}$$

$$P_a = 40 \text{ PSI} = 2,76 \text{ bar}$$

$$P_e = 20 \text{ PSI} = 1,39 \text{ bar}$$

$$P_b = 0,72 \text{ bar}$$

En el anexo 1.6, se observa que los ciclos por hora correspondientes a la bomba son de 20. Por tanto, al aplicar la ecuación 3.20 el volumen del tanque hidroneumático es:

$$V = \frac{1 * 0.312 * (1.35 \frac{m^3}{h})}{\frac{20}{h} * (\frac{2.76 \text{ bar} + 0.72 \text{ bar}}{2.76 \text{ bar} - 1.39 \text{ bar}})} = 0.00829m^3 = 8.29 L$$

De acuerdo con el mercado se puede encontrar tanques desde 24 L.

3.3.CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Una vez establecido los criterios de diseño acuerdo con las características reales de una casa modelo ubicada en la zona rural del sur del DMQ, se procedió a realizar el mismo análisis para el diseño y construcción del prototipo. En este apartado se describe todos los aspectos técnicos y estéticos que se tomaron en cuenta,

La construcción del prototipo se realizó en la Escuela Politécnica Nacional debido a que necesitó realizar pruebas experimentales y análisis fisicoquímicos del agua en el LDIA (Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental), por lo que, los datos meteorológicos fueron tomados de la Estación Ñaquito, que es la más cercana al lugar, obteniendo valores mostrados en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Precipitaciones, periodo 1987 - 2017. Estación Ñaquito

Precipitación mensual [mm]												
Estación Ñaquito (M0024)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Mín	4,6	13,2	25,2	46,2	19,7	0,3	0,1	0,1	3,0	9,3	8,0	4,5
Máx	204,9	237,2	294,2	372,9	1333,1	126,6	117,3	98,0	138,9	246,8	232,4	221,2
Med	90,9	110,8	150,7	174,2	145,5	39,3	22,7	27,0	61,3	115,5	106,5	92,1
Sum	2818,6	3434,6	4673,2	5399,8	4220,3	1218,8	705,1	810,7	1900,2	3579	3301,7	2763

Fuente: Anuarios Meteorológicos - (INAMHI, 2012)

Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

La Tabla 3.11 muestra al mes de abril con mayor pluviosidad, mientras que el mes de julio tiene valores más bajos de pluviosidad al igual que en la estación de la zona de estudio (Izobamba). En el Anexo 5.3 se muestra a detalle la precipitación de la estación Ñaquito en el periodo 1987 – 2017.

3.3.1. CRITERIOS DE ESCALAMIENTO

En condiciones reales de una techada, se tomó $\frac{1}{6}$ parte del área total para la construcción del prototipo, con el fin de demostrar el funcionamiento del sistema. Además, se adaptó el prototipo a las condiciones del lugar elegido para la construcción (terracea del edificio N° 10).

3.3.2. CONSTRUCCIÓN DEL SUBSISTEMA CAPTACIÓN

El subsistema de captación se encuentra asentado sobre una estructura metálica la cual fue construida y fijada a la terracea del edificio N° 10 de la Escuela Politécnica Nacional con tubos, placas base y tornillos (Figura 3.14).

La techada fue construida con 5 planchas de zinc recicladas que fueron cortadas y colocadas sobre la estructura metálica dando una superficie de 12m^2 , con un largo de 6 m y un ancho de 2 m, contando con una sola caída y con una pendiente de 0,2, mientras que la canaleta fue elaborada con tubería PVC reciclada de 3 pulg (0,0762 m) conectada a una bajante de PVC de 2 pulg (0,0508 m) como se muestra en la Figura 3.15.

Figura 3.14 Armado y fijación de la estructura metálica



Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

Figura 3.15 Colocación de la techada



Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

3.3.3. CONSTRUCCIÓN DEL SUBSISTEMA DE CONDUCCIÓN

Para conocer el caudal y el volumen que manejan la canaleta y la bajante, se calculó el área transversal y el perímetro mojado mediante las ecuaciones 3.21 y 3.22:

Ecuación 3.21 Área transversal de un semicírculo

$$A_t = \frac{\pi \phi^2}{8}$$

Donde: A_t : área transversal [m^2]

ϕ : base de la canaleta [m]

Por tanto: $A_t = \frac{\pi(0,0762)^2}{8} = 0,0023 m^2$

Ecuación 3.22 Perímetro mojado de un semicírculo

$$Pm = \frac{\pi * \phi}{2} + \phi$$

Donde: Pm : perímetro mojado [m]

ϕ : base de la canaleta [m]

Entonces: $Pm = \frac{\pi * 0,07620 m}{2} + 0,0762 m = 0,196 m$

Posteriormente, se aplicó las ecuaciones 3.6 y 3.7 considerando el coeficiente de escorrentía $C_e=0,9$ correspondiente al metal de acuerdo con el anexo 1.1, mientras que el coeficiente de Manning es 0,009 de acuerdo con el anexo 1.2 y con una pendiente de 0,0067 y se tuvo los siguientes resultados:

$$R_h = \frac{0,0023 m^2}{0,196 m} = 0,012 m$$

$$Q = \frac{1}{0,009} * 0,0023 m^2 * (0,012 m)^{\frac{2}{3}} * 0,067^{0,5} = 0,001 \frac{m^3}{s}$$

La Figura 3.16 muestra la canaleta y la bajante colocadas en el prototipo.

Figura 3.16 Canaleta y bajante



Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

3.3.4. CONSTRUCCIÓN DEL SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO

3.3.4.1. TANQUE DE PRIMERAS AGUAS

Para la construcción del tanque de primeras aguas se calculó la capacidad mediante la ecuación 3.10.

$$V_{pa} = \frac{12 \text{ m}^2 * 1 \text{ mm}}{10000} = 0,012 \text{ m}^3 = 12 \text{ L}$$

De acuerdo con volumen requerido se encontró un tanque con 0,41 m de altura, 0,22 m de ancho y 0,27 m de largo con un volumen de 18,9 L, lo cual sobrepasa la capacidad deseada, por lo que se colocó una capa de aproximadamente 5cm de grava para evitar que este tanque almacene demasiada agua.

Posteriormente, se realizó un agujero de 5 cm de diámetro en la parte inferior del tanque a 4 cm del borde inferior para la evacuación del agua sucia (desfogue) en cada evento como se muestra en la Figura 3.17.

Finalmente, se procedió a la colocación y encaje de una malla 3 mm de diámetro entre el tanque y la bajante, se tomó en cuenta que la bajante debía estar conectada con el tanque de almacenamiento por lo que se colocó una “Y” y un codo de 45° a una altura de 20 cm del tanque como se indica en la Figura 3.18.

Figura 3.17 Elaboración del agujero en el tanque de primeras aguas



Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

Figura 3.18 Colocación del tanque de primeras aguas



Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

3.3.4.2. TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Para la construcción del tanque de almacenamiento se calculó el volumen de agua lluvia captada, usando la ecuación 3.1, donde el coeficiente de escorrentía es de 0,9 según el anexo 1.1. Además, se determinó los valores diarios de agua disponible y se obtuvo la Tabla 3.12.

Tabla 3.12 Volumen diario de agua disponible en el prototipo

Mes	Ppi [mm]	Ce	Ac [m ²]	V _{II} [L]	V _{II} [m ³]	Días	V _{II} diario [m ³]	V _{pa} [m ³]	V _{disponible} diario [$\frac{m^3}{d}$]
Ene	90,9	0,9	12	981,72	0,98	31	0,03	0,012	0,02
Feb	110,8	0,9	12	1196,64	1,20	28	0,04	0,012	0,03
Mar	150,7	0,9	12	1627,56	1,63	31	0,05	0,012	0,04
Abr	174,2	0,9	12	1881,36	1,88	30	0,06	0,012	0,05
May	145,5	0,9	12	1571,42	1,57	31	0,05	0,012	0,04
Jun	39,3	0,9	12	424,44	0,42	30	0,01	0,012	0,002
Jul	22,7	0,9	12	245,16	0,25	31	0,008	0,012	-0,004
Ago	27	0,9	12	291,6	0,29	31	0,009	0,012	-0,003
Sep	61,3	0,9	12	663,12	0,66	30	0,022	0,012	0,01
Oct	115,5	0,9	12	1247,4	1,25	31	0,04	0,012	0,03
Nov	106,5	0,9	12	1150,2	1,15	30	0,04	0,012	0,03
Dic	92,1	0,9	12	994,68	0,99	31	0,032	0,012	0,02

Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

Debido a que se trata de un prototipo el volumen del tanque de almacenamiento se determinó la demanda de agua mediante la ecuación 3.2 para que abastezca a una persona en 22 días laborables y se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 3.13.

En la Tabla 3.13 se puede observar que se obtuvo un volumen de almacenamiento de 55 L, por lo que de acuerdo con las características del fabricante se escogió una caneca de 15 galones, con capacidad de 60 litros, la capacidad más próxima a la deseada.

Tabla 3.13 Volumen del tanque de almacenamiento del prototipo

Mes	V _{disponible diario} [$\frac{m^3}{d}$]	Demanda diaria [$\frac{m^3}{d}$]	Oferta - Demanda	Valor máx positivo	Valor máx negativo
Ene	0,02	0,02	-0,005		
Feb	0,03	0,02	0,006		
Mar	0,04	0,02	0,016		
Abr	0,05	0,02	0,026	0,026	
May	0,04	0,02	0,014		
Jun	0,002	0,02	-0,023		
Jul	-0,004	0,02	-0,029		0,0029
Ago	-0,003	0,02	-0,027		
Sep	0,01	0,02	-0,015		
Oct	0,03	0,02	0,003		
Nov	0,03	0,02	0,002		
Dic	0,02	0,02	-0,005		
VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO [m³]				0,055	

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

En el tanque de almacenamiento se hizo un agujero de 5,08 cm en la parte baja del tanque para nivelar la presión en el tanque, colocando una tubería de 2 pulgs (5,08 cm) para evacuar el agua sobrante. Las Figuras 3.19 muestra cómo se realizó la colocación de la tubería y el tanque de almacenamiento.

Finalmente se colocó dos mallas (1mm y 0.1mm de diámetro en orificios) en la tubería que ingresa al tanque de almacenamiento para retener sólidos superiores a este diámetro y para su fácil mantenimiento como se indica en la Figura 3.20.

Figura 3.19 Tanque de almacenamiento del prototipo



Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

Figura 3.20 Malla móvil en el tanque de almacenamiento



Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

3.3.5. CONSTRUCCIÓN DEL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

En el sistema de bombeo se mantuvieron las especificaciones exactas del diseño de una vivienda modelo, en lo que se refiere a caudal y velocidad calculadas en el apartado 3.2.3, ya que estos valores fueron calculados para dirigir el agua hacia el inodoro en condiciones reales.

$$Q = 0,00062 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$v = 1,52 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.3.5.1. CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA DEL PROTOTIPO

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

Debido a que trabajamos con la velocidad y el mismo diámetro de tubería en condiciones reales se mantiene el factor de 0,024 correspondiente a un flujo turbulento calculados en el apartado 3.2.3.2.1.

- **Pérdidas por fricción en la succión**

Para el cálculo de estas pérdidas es necesario conocer la longitud que va a tener la tubería de carga que es de 0,80 m y se procedió a aplicar la ecuación 3.13:

$$h_f = 0,024 * \frac{0,8 \text{ m}}{0,0228 \text{ m}} * \frac{(1,52 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,1\text{m}$$

- **Pérdidas por fricción en la descarga**

Para el cálculo de estas pérdidas se tiene una longitud de tubería de descarga de 5,85m, por tanto:

$$h_f = 0,024 * \frac{5,85 \text{ m}}{0,0228 \text{ m}} * \frac{(1,52 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,73\text{m}$$

PÉRDIDAS DE CARGA POR ACCESORIOS

Para este cálculo, se tomó en cuenta el factor de acuerdo con el anexo 1.5 y el diámetro nominal de la tubería que es de 25 mm.

- **Pérdidas de carga por accesorios en la succión**

La Tabla 3.14 indica el número y el tipo de accesorios que se encuentran en el tramo de la succión.

Tabla 3.14 Accesorios en la succión del prototipo

Accesorios	Cantidad	Km	Total
Válvula de pie	1	1,75	1,75
Unión universal	1	0,30	0,30
Codo 90°	1	1,20	1,20
TOTAL			3,25

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

Entonces, aplicando la ecuación 3.17 para el tramo de succión se tiene:

$$h_{acc} = 3,25 * \frac{(1,52 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,38 \text{ m}$$

- **Pérdidas de carga por accesorios en la descarga**

De acuerdo con el tipo de accesorio, su cantidad y el factor de cada uno se tiene la Tabla 3.15.

Tabla 3.15 Accesorios en la descarga del prototipo

Accesorios	Cantidad	Km	Total
Codo 90°	6	1,20	7,20
Válvula check	1	2,70	2,70
Unión universal	1	0,30	0,30
Tee	1	0,8	0,80
TOTAL			11

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

Por tanto, al aplicar la ecuación 3.17 en el tramo de descarga se tiene:

$$h_{acc} = 11 * \frac{(1,52 \frac{m}{s})^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 1,3 \text{ m}$$

Para calcular el total de pérdidas en cada uno de los tramos se aplica la ecuación 3.18. Entonces, en el tramo de la succión se tiene:

$$h_t = 0,1 \text{ m} + 0,38 \text{ m} = 0,48 \text{ m}$$

Mientras que en el tramo de la descarga:

$$h_t = 0,73 \text{ m} + 1,3 = 2,03 \text{ m}$$

3.3.5.2. ALTURA DIÁMICA TOTAL DEL PROTOTIPO

Para conocer la altura dinámica de total, es necesario saber la altura geométrica, que es de 2,7m, por tanto, aplicando la ecuación 3.12.

$$TDH = 2,7 \text{ m} + 2,51 \text{ m} + \frac{(1,52 \frac{m}{s})^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} + 7\text{m} = 12,33 \text{ m}$$

3.3.5.3. POTENCIA DE LA BOMBA DEL PROTOTIPO

La potencia de la bomba se calculó mediante la ecuación 3.19.

$$P = \frac{0,62 \frac{\text{L}}{\text{S}} * 12,33 \text{ m} * 1}{75 * 0,65} = 0,16$$

Debido a que en el mercado solo existen bombas a partir de 0,5 HP, se utilizó una bomba con esta potencia como se puede observar en el anexo 3.5.

3.3.5.4. AUTOMATIZACIÓN DE LA BOMBA DEL PROTOTIPO

La automatización de la bomba se la realizó con un sensor de nivel de agua de tipo flotador, un contactor de 110V, un switch de botón y un tanque hidroneumático de la misma forma que en condiciones reales (Figura 3.21 y 3.22).

Debido a que la bomba tiene las mismas características que en condiciones reales, el volumen del tanque hidroneumático es el mismo calculado en el apartado 3.2.3.4.1.

Figura 3.21 Conexiones eléctricas



Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

Figura 3.22 Automatización de la bomba



Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

3.4.MONITOREO DEL PROTOTIPO

Una vez finalizada la construcción se llevó a cabo la puesta en marcha para verificar su funcionamiento mismo que fue monitoreado durante 4 meses: dos en época seca y dos en época lluviosa.

3.4.1. REAJUSTES EN EL FUNCIONAMIENTO CONTINUO DEL PROTOTIPO

Durante los meses de monitoreo del prototipo se observó la existencia de agujeros en la techada debido a que esta no era nueva, lo que provocaba goteos (pérdida de agua), por lo que se procedió a tapar estos agujeros con silicona acética universal de color aluminio.

De la misma forma, se observó fugas en la conexión entre la bajante y el tanque de primeras aguas y en el tubo de desfogue del tanque de almacenamiento, las cuales fueron tapadas con la misma silicona como muestra la Figura 3.23.

Se observó fugas en la tubería de distribución debido a la presión en la conexión tubo-codo, por lo que se procedió al reajuste de toda la tubería de distribución como se puede observar en la Figura 3.24.

Figura 3.23 Reparación de fugas en el tanque de primeras aguas



Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

Figura 3.24 Reajuste de tubería de distribución



Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

3.4.2. CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA; PARÁMETROS FÍSICOS

El control de la calidad del agua fue dirigida a la retención de sólidos por lo que la cantidad de muestras varió de acuerdo con las precipitaciones existentes en cada una de las épocas (seca y lluviosa).

Durante este periodo en el tanque de almacenamiento se observó la acumulación de poca cantidad de sólidos sedimentables que podrían afectar a la bomba, por lo

que se procedió a colocar un filtro de esponja para retirar estos sólidos y al análisis de la muestra cómo se indican en las Figuras 3.25y 3.26.

Figura 3.25 Filtro de esponja



Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

Figura 3.26 Análisis de sólidos sedimentables



Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

La cantidad de sólidos sedimentables posterior a la colocación del filtro de esponja (Tabla 3.16) muestra una significativa disminución tanto para la época seca como la lluviosa teniendo valores de 0,19mL y 0,15mL respectivamente. Además, los casilleros que tienen guion representan a valores pequeños que con el cono Imhoff no se pueden medir.

Tabla 3.16 Sólidos sedimentables en el inodoro

		Sólidos Sedimentables (inodoro) (mL)																																			
		MESES ÉPOCA LLUVIOSA																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Med				
Mes 1					0,1	-						0,1	0,1	-	-							0,3	0,2	0,1		0,1		-		-	-				0,08		
Mes 2		-				0,1									0,3							0,2			0,1		0,3	0,1	0,1	-	0,1					0,13	
																																					0,10
		MESES ÉPOCA SECA																																			
Mes 1				0,2		0,2		0,1				0,1	-								0,2						0,2							0,1			0,11
Mes 2		0,3				0,3	-	-			0,4						0,1	-				0,1	0,1				0,2									0,17	
																																					0,14

Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

3.5.EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROTOTIPO

La evaluación financiera se realizó de acuerdo con las características de una vivienda en la zona de estudio.

3.5.1. DETERMINACIÓN DE INGRESOS

Los ingresos para tomar en cuenta en este sistema se encuentran en función del subsidio del agua dentro del DMQ (lugar y volumen) y se los determina mediante el volumen promedio anual de agua ahorrada (ecuación 3.23).

Ecuación 3.23 Volumen promedio anual en el tanque de almacenamiento

$$O_{PA} = \frac{\sum_{t=1}^T O_t}{T} * 365$$

Donde: O_{PA} : volumen promedio anual de salida de agua del tanque de almacenamiento [m^3]

t : tiempo [días]

T : periodo total de modelación [días]

O_t : volumen de salida de agua desde el almacenamiento [m^3]

$$O_{PA} = \frac{3,07 + 2,78 + 3,07 + 2,98 + 3,07 + 2,983,07 + 3,07 + 2,98 + 3,07 + 2,98 + 3,07}{365} * 365$$

$$O_{PA} = 36,19 m^3$$

Para calcular el valor monetario de ahorro (ingresos), se aplica la ecuación 3.24.

Ecuación 3.24 Ingresos

$$\text{Ingresos} = \text{Volumen promedio anual de agua ahorrada} * \text{tarifa}$$

De acuerdo con el pliego tarifario proporcionado por la EPMAPS (2019), se establece la Tabla 3.17 que contiene el costo del agua de acuerdo con el consumo, que en la zona de estudio supera los $20m^3$.

Tabla 3.17 Pliego tarifario

Rangos de consumo [m^3]	Tarifa [USD]
0 - 11	0,31
12 - 18	0 ,43
> 18	0,72

Fuente: EPMAPS, 2019

$$\text{Ingresos} = 36,19\text{m}^3 * 0,72 \frac{\$}{\text{m}^3} = \$26,06$$

Debido a que el valor monetario de ahorro anual es bajo en el consumo de agua netamente por el inodoro, se estimó el ahorro para el volumen de agua lluvia total captado.

$$O_{PA} = \frac{7,69 + 9,3 + 11,93 + 12,22 + 9,23 + 3,84 + 2,06 + 2,09 + 4,28 + 7,67 + 8,84 + 8,46}{365} * 365$$

$$O_{PA} = 87,88 \text{ m}^3$$

$$\text{Ingresos} = 87,88\text{m}^3 * 0,72 \frac{\$}{\text{m}^3} = \$63,27$$

3.5.2. DETERMINACIÓN DE EGRESOS

Se estableció un presupuesto referencial para la implementación del sistema de aprovechamiento de agua lluvia en una casa promedio dentro de la zona de estudio como se muestra en la Tabla 3.18. El costo total se divide en función de cada subsistema, omitiendo el subsistema de captación, ya que este proyecto está orientado a viviendas que ya disponen de una techada.

Tabla 3.18 Presupuesto referencial

SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA PARA EL ABASTECIMIENTO SANITARIO				
Sistema	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
Conducción	Bajantes 10m	1	8	8
Almacenamiento	tanque 100L	1	25	25
	tanque 500L	1	125	125
	tubo 2" 3m	1	10,3	10,3
	codo 45° 2"	1	0,79	0,79
	Y 2"	1	0,83	0,83
	pegamento de tubería	1	5	5
	silicon plomo	1	4,5	4,5
Distribución	bomba	1	120	120
	tanque de presurización	1		
	tubo 1/2" 3m	1	10,5	10,5
	tubo 1" 6m	1	18,24	18,24
	bushing 1" x 1/2"	2	1,48	2,96
	tee 1"	1	2,2	2,2
	válvula de pie 1"	1	9,8	9,8
	válvula check 1"	1	8,48	8,48
	universal 1"	2	3,83	7,66
	codos 90° 1/2"	2	0,49	0,98
	codos 90° 1"	4	1,4	5,6
	sensor de nivel de agua	1	10	10
	contactor 110V	1	15	15
	switch	1	2	2
	cable sucre 14	3	0,81	2,43
ganchos metálico 1"	5	0,36	1,8	
Filtración	malla metálica	1	0,25	0,25
	malla delgada	1	0,5	0,5
	malla plástica	1	0,25	0,25
	filtro de esponja	1	10	10
	cable gemelo 20	3	0,26	0,78
	Otros			10
	Mano de Obra			50
TOTAL				468,85

Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

3.5.3. DETERMINACIÓN DE COSTOS FIJOS

Los costos fijos hacen referencia al mantenimiento de la bomba, la cual se ve expuesta a corrosión y se lo va a realizar cada 3 años como se indica en la Tabla 3.19.

Tabla 3.19 Costos fijos

COSTOS FIJOS	USD
Mantenimiento	20
Total	20

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

3.5.4. DETERMINACIÓN DE INDICADORES FINANCIEROS

Para conocer el valor de los indicadores financieros previo creamos un flujo de caja donde indicamos los ingresos y egresos del proyecto, como se muestra en la Tabla 3.20.

Tabla 3.20 Flujo de caja de la demanda sanitaria

Flujo de caja (demanda sanitaria)				
AÑO	Flujo de ingresos	Flujo de egresos	Flujo neto	Flujo de caja acumulado
Inversión inicial			-468,85	
1	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 26,06
2	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 52,11
3	\$ 26,06	\$20	\$ 6,06	\$ 58,17
4	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 84,23
5	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 110,28
6	\$ 26,06	\$20	\$ 6,06	\$ 116,34
7	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 142,40
8	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 168,45
9	\$ 26,06	\$20	\$ 6,06	\$ 174,51
10	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 200,57
11	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 226,62
12	\$ 26,06	\$20	\$ 6,06	\$ 232,68
13	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 258,74
14	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 284,80
15	\$ 26,06	\$20	\$ 6,06	\$ 290,85
16	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 316,91
17	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 342,97
18	\$ 26,06	\$20	\$ 6,06	\$ 349,02
19	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 375,08
20	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 401,14
21	\$ 26,06	\$20	\$ 6,06	\$ 407,19
22	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 433,25
23	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 459,31
24	\$ 26,06	\$20	\$ 6,06	\$ 465,36
25	\$ 26,06		\$ 26,06	\$ 491,42

Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

La Tabla 3.20 indica que el número de años para recuperar la inversión es de 25 años, excediendo la vida útil del sistema, por lo que se procedió a realizar el flujo de caja del volumen total de agua captado como se indica en la Tabla 3.21.

Tabla 3.21 Flujo de caja del volumen total de agua captada

Flujo de caja (Volumen total de agua captada)				
AÑO	Flujo de ingresos	Flujo de egresos	Flujo neto	Flujo de caja acumulado
Inversión inicial			-468,85	
1	\$ 63,27		\$ 63,27	\$ 63,27
2	\$ 63,27		\$ 63,27	\$ 126,54
3	\$ 63,27	\$20	\$ 43,27	\$ 169,81
4	\$ 63,27		\$ 63,27	\$ 233,08
5	\$ 63,27		\$ 63,27	\$ 296,35
6	\$ 63,27	\$20	\$ 43,27	\$ 339,62
7	\$ 63,27		\$ 63,27	\$ 402,89
8	\$ 63,27		\$ 63,27	\$ 466,16
9	\$ 63,27	\$20	\$ 43,27	\$ 509,43
10	\$ 63,27		\$ 63,27	\$ 572,70
11	\$ 63,27		\$ 63,27	\$ 635,97
12	\$ 63,27	\$20	\$ 43,27	\$ 679,24
13	\$ 63,27		\$ 63,27	\$ 742,51
14	\$ 63,27		\$ 63,27	\$ 805,78
15	\$ 63,27	\$20	\$ 43,27	\$ 849,05
16	\$ 63,27		\$ 63,27	\$ 912,32
17	\$ 63,27		\$ 63,27	\$ 975,59
18	\$ 63,27	\$20	\$ 43,27	\$ 1.018,86
19	\$ 63,27		\$ 63,27	\$ 1.082,13
20	\$ 63,27		\$ 63,27	\$ 1.145,40

Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

La Tabla 3.21 muestra que utilizando el volumen total de agua lluvia captada la inversión se recupera a los 9 años y para los 20 años se tendrá una ganancia de 595,97 USD. Los indicadores: TIR, VAN y PRI se obtuvieron usando las ecuaciones 3.25 y 3.26 en los dos casos y se indican en las Tablas 3.22 y 3.23:

Ecuación 3.25 Valor Presente Neto

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + K)^t} - I_0$$

Donde: F_t : flujo de cada del periodo t

K: tasa de descuento del inversionista

n: número de periodos considerados

I_0 : valor de la inversión inicial

Ecuación 3.26 Período de retorno de la inversión

$$PRI = A + \frac{(B - C)}{D}$$

- Donde: **A:** año anterior al que se recupera la inversión [año]
B: inversión inicial [\$]
C: flujo de caja acumulado del periodo A [\$]
D: flujo de caja del periodo donde se recupera la inversión [\$]

Tabla 3.22 Indicadores financieros de la demanda de agua del inodoro

Demanda inodoro	
Número de años	21
Tasa	10%
Inversión inicial	\$ 468,85
VAN	(\$ 295,75)
TIR	-1%
VAN ingresos	\$ 225,36
VAN egresos	\$ 97,37
Costo-inversión	\$ 566,22
PRI	24,007

24 años y 2 días

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

Debido a que el PRI supera los 20 años y que el VAN y el TIR son negativos, se analizó los indicadores financieros respecto al total de agua captada como se indica en la Tabla 3.23 indicando que el PRI es de 8 años, con un VAN y TIR positivo, concluyendo que el proyecto es viable.

Tabla 3.23 Indicadores financieros del volumen total de agua captada

Volumen total de agua	
Ahorro total del agua	63,27
Número de años	21
tasa	10%
inversión inicial	\$ 468,85
VAN	\$ 20,25
TIR	11%
VAN ingresos	\$ 538,65
VAN egresos	\$ 87,11
costo-inversión	\$ 555,96
PRI	8,005

8 años y 2 días

Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CAPACIDAD DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

4.1.1. DEMANDA DE AGUA REQUERIDA POR EL INODORO

Para establecer la demanda de agua requerida por el inodoro fue necesario conocer el tipo de inodoro, el desecho a ser evacuado, número de personas que habitan una vivienda y las veces que utilizan el servicio sanitario valores indicados en el apartado 3.1. La Tabla 4.1 muestra la demanda de agua mensual respecto a los tipos de inodoros.

Tabla 4.1 Demanda de agua mensual del inodoro

Tipo de inodoro	Bajo consumo	Doble descarga		Alta eficiencia
Tipo de desecho		Sólido	Líquido	
Volumen de agua (L)	6,2	6,2	4,1	4,8
Mes	Demanda de agua (m³)			
Enero	3,08	3,08	2,03	2,38
Febrero	2,78	2,78	1,84	2,15
Marzo	3,08	3,08	2,03	2,38
Abril	2,98	2,98	1,97	2,3
Mayo	3,08	3,08	2,03	2,38
Junio	2,98	2,98	1,97	2,3
Julio	3,08	3,08	2,03	2,38
Agosto	3,08	3,08	2,03	2,38
Septiembre	2,98	2,98	1,97	2,3
Octubre	3,08	3,08	2,03	2,38
Noviembre	2,98	2,98	1,97	2,3
Diciembre	3,08	3,08	2,03	2,38
Promedio	3	3	2	2,3

Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

De acuerdo con el INEC (2010), típicamente en las viviendas se encuentra una familia de 4 personas, las cuales utilizan el inodoro 4 veces al día, por tanto, en la Tabla 4.1 se observa que la demanda de agua en el inodoro está en función del

tipo de inodoro siendo el más utilizado el inodoro de bajo consumo teniendo un promedio mensual de 3 m³.

4.1.2. OFERTA DE AGUA LLUVIA CAPTADA

Para establecer el volumen de agua lluvia, fue necesario conocer el área de captación y valores promedios mensuales de precipitaciones. De acuerdo con el MIDUVI una vivienda típica tiene un área de 72.68m² y la estación más cercana es la zona de estudio es Izobamba. En la Tabla 4.2 se presenta el resumen mensual del volumen de agua captada.

Tabla 4.2 Resumen del volumen mensual de agua lluvia captada

Mes	Volumen de agua captada (m ³)
Ene	7,96
Feb	9,3
Mar	11,93
Abr	12,22
May	9,23
Jun	3,84
Jul	2,06
Ago	2,09
Sep	4,28
Oct	7,67
Nov	8,84
Dic	8,46

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

En la Tabla 4.2 se observa que, en los meses de abril y noviembre, el volumen de agua captada será máximo, mientras que los meses de julio y agosto correspondiente a los meses secos, se obtuvo un promedio de 2,06 y 2,09 m³ respectivamente siendo los valores más bajos.

4.1.3. VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Para conocer el volumen de agua del tanque de almacenamiento es necesario analizar la oferta y demanda diaria de agua como indica la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Abastecimiento de agua en el inodoro

Mes	Demanda diaria ($\frac{m^3}{d}$)	Volumen diario de agua disponible ($\frac{m^3}{d}$)	Diferencia (Oferta – Demanda)
Enero	0,1	0,18	0,08
Febrero	0,1	0,26	0,16
Marzo	0,1	0,31	0,21
Abril	0,1	0,33	0,24
Mayo	0,1	0,23	0,13
Junio	0,1	0,06	-0,04
Julio	0,1	-0,01	-0,11
Agosto	0,1	-0,01	-0,10
Septiembre	0,1	0,07	-0,03
Octubre	0,1	0,17	0,08
Noviembre	0,1	0,22	0,12
Diciembre	0,1	0,2	0,10
VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO (m^3)			0,35

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

Aplicando el método de diferencia de volúmenes, se obtuvo 0,24 y -0,11 como valores máximo y mínimo respectivamente. En la Tabla 4.3 se observa que, el volumen del tanque de almacenamiento es de $0.35 m^3$, el cual se adaptará a las condiciones del mercado.

4.2.ÍNDICE DE LANGELIER

La Tabla 4.4 muestra la evaluación del agua en función de los parámetros analizados en el apartado 3.1.4 requeridos para el cálculo del Índice de Langelier que evaluó el carácter corrosivo del agua.

Tabla 4.4 Resultado del ILS

ÍNDICE DE LANGELIER		
Parámetros	Unidades	Promedio
pH		6,8
Temperatura	°C	15,2
Dureza	$\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	23
Conductividad	$\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	19,6
Turbiedad	NTU	4
Alcalinidad	$\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	12
ILS		-2,4 Corrosión

Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

El agua de lluvia captada tiene valores similares al agua potable con respecto a la turbiedad y valores bajos tanto en dureza como en alcalinidad ocasionando que el Índice de Langelier tenga un valor de -2,4, es decir, que el agua tiene características corrosivas.

4.3. EFICIENCIA DE LA REMOCION DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Los datos obtenidos de sólidos sedimentables de muestras de agua lluvia y las muestras posteriores a su remoción mediante los diferentes filtros, sirvió para determinar los porcentajes de eficiencia de remoción.

Tabla 4.5 Eficiencia de remoción de sólidos sedimentables

Sólidos sedimentables	Época lluviosa		Época seca	
	Mes 1	Mes 2	Mes 1	Mes 2
Antes del filtro	0,56	0,67	0,8	0,83
Después del filtro	0,08	0,13	0,11	0,17
%Eficiencia Remoción	85,71	80,6	86,25	79,52
Promedio	83,16		82,89	

Elaborado por: Cárdenas – Reinoso

En la Tabla 4.5 se observan las eficiencias de remoción de sólidos sedimentables de la época lluviosa y seca que son 83,16% y 82,89% respectivamente. Sin embargo, es necesario mencionar que debido a que la utilización del agua es para el servicio sanitario, el aspecto estético es bastante aceptable.

4.4. RENTABILIDAD DEL SISTEMA

Los resultados de la evaluación de factibilidad financiera del prototipo mediante un flujo de fondos muestran que se puede presentar dos escenarios donde uno resulta rentable y el otro no. Bajo condiciones únicas de abastecimiento a los inodoros se desperdicia mucha agua captada, por lo que el proyecto no resulta económicamente viable, mientras que, si se aprovecha en su totalidad el agua en otras actividades resulta rentable la inversión.

La estimación del presupuesto referencial para la construcción del sistema, teniendo en cuenta los equipos y accesorios esenciales es de \$468,85.

4.4.1. INGRESOS Y EGRESOS

Los ingresos se obtienen en función del volumen anual de captación de agua lluvia teniendo dos escenarios como indica la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Ingresos

INGRESOS	Demanda del inodoro	Volumen total agua captada
Ingresos del volumen anual (\$)	36,19	87,88
Tarifa agua potable ($\frac{\$}{m^3}$)	0,72	0,72
Ahorro anual (\$)	26,06	63,27

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

La Tabla 4.6 muestra que se obtienen mayores ingresos utilizando toda el agua captada teniendo un valor de \$63,27. Los egresos se estiman en función del mantenimiento del sistema con un costo mínimo de \$20, mediante una revisión cada tres años, esto también aplica para los dos escenarios.

4.4.2. INDICADORES FINANCIEROS

La Tabla 4.7 muestra los indicadores financieros para los dos escenarios.

Tabla 4.7 Resultados indicadores financieros

Indicadores Financieros	Demanda del inodoro	Volumen total
VAN	-\$ 295,75	\$20,25
TIR	-1%	11%
PRI	24	8
B/C	0,4	1,1
Viabilidad	NO	SI

Elaborado por: Cárdenas - Reinoso

La Tabla 4.7 indica que al abastecer únicamente solo la demanda de agua en el inodoro el valor presente neto (VAN) es negativo y la tasa interna de retorno tiene un valor de -1%, además, el tiempo de retorno de la inversión superó los 20 años de vida útil del, por lo que se considera al proyecto no viable, mientras que, si se ocupa el volumen total de agua captado el VAN y TIR son positivos, con un tiempo de retorno de 8 años resultando un proyecto viable.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- De acuerdo con el volumen de agua lluvia captada (oferta) y la demanda de agua en el inodoro, se determinó que, en los meses julio y agosto correspondientes a la época seca de año, existirá un déficit en el abastecimiento sanitario, por lo que es necesario una conexión al agua potable, ya que a pesar de las abundantes precipitaciones en el sur del DMQ, estas no son equitativas y no satisfará la demanda todo el año.
- En base a la abundancia de precipitaciones, se obtuvo 84,88m³ anuales de agua lluvia recolectada, requiriendo un tanque de 500L acorde al mercado, con capacidad suficiente para el abastecimiento completo de más de un inodoro, excepto en los meses de julio y agosto.
- Según el valor negativo del Índice de Langelier (-2,4), se determinó que el agua lluvia captada tiene tendencia corrosiva, por lo que, es necesario utilizar tubería PVC debido a la resistencia que presenta a este tipo material, además de su bajo costo y larga vida útil.
- En el sistema de filtración implementado y distribuido en cada subsistema del prototipo, se obtuvo porcentajes de remoción de sólidos de 83,16% y 82,89%, correspondientes a época lluviosa y seca respectivamente, lo que indica que el agua a ser utilizada en el inodoro presenta calidad y estética, muy similares al agua potable.
- De acuerdo con los resultados del análisis financiero, se concluye que el proyecto no es viable, si se utiliza el agua captada solo para abastecer el inodoro, debido a que el ahorro es de \$26,06 en promedio anual, valor muy bajo respecto a la inversión de \$468,85, ocasionando que el periodo de retorno de la inversión supere la vida útil del sistema (20 años), lo que implica más costos de inversión que ganancias en la factura del agua. Sin embargo,

desde el punto de vista de servicio ambiental, el sistema de aprovechamiento de agua lluvia es una decisión viable.

- Respecto al análisis financiero basado en el consumo total del volumen de agua lluvia captada, se establece que el sistema es viable, si se aprovecha toda el agua lluvia, dando un ahorro de \$63,27 en promedio anual, con un tiempo de retorno de la inversión de 8 años y una relación costo - beneficio 1,1, es decir por cada dólar invertido se recupera \$0,10, teniendo una ganancia de \$1 145,40 al final de su vida útil.

5.2. RECOMENDACIONES

- Implementar el prototipo a escala real no solo en zonas rurales sino también en zonas urbanas del sur del DMQ, debido a que el abastecimiento de agua potable es intermitente dependiendo del lugar.
- Realizar la construcción del sistema de aprovechamiento de agua lluvia en los meses más secos del año (julio y agosto), para tener un mejor control de fugas en las tuberías a través de una simulación de lluvia.
- Realizar la limpieza del subsistema de filtración a inicios y finales de la época lluviosa para evitar la acumulación de sólidos gruesos (hojarasca, mosquitos y basura) y finos en los distintos filtros del sistema.
- Realizar el mantenimiento de los tanques de primeras aguas y almacenamiento cada 6 meses de acuerdo con recomendaciones del fabricante.
- Fijar una llave al tanque de primeras aguas para facilitar la evacuación del agua de lavado de la techada, al momento de realizar la limpieza del tanque.
- Dependiendo del grado de corrosión del agua lluvia, colocar una base o álcali que puede ser un filtro de calcita para aumentar el pH del agua.

- Estudiar la dosificación con hipoclorito de sodio en el tanque de almacenamiento como tratamiento de desinfección para evitar la acumulación de microorganismos o evitar el crecimiento de algas.
- Dar mantenimiento a la electrobomba cada 12 meses de acuerdo con la recomendación de fabricante a cargo de personal capacitado, para que el desempeño de la bomba sea óptimo.
- Para la correcta automatización del sistema de bombeo debe tomarse en cuenta que los equipos y accesorios dispongan de elementos de protección a factores meteorológicos como cubiertas, que se encuentren elevados sin cables sueltos y en un piso estable.
- Analizar el sistema de aprovechamiento de agua lluvia para la utilización en lavamanos y duchas, ya que se constató un excedente de agua captada en épocas lluviosas, sin embargo, esto requiere un análisis estructural más amplio de las viviendas y un nuevo diseño en la red de distribución.
- Realizar un estudio similar con un tanque elevado debido a que el agua lluvia llegará a su destino por efecto de la gravedad, evitando la utilización de una electrobomba disminuyendo costos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J. D., & Peláez, R. (2016). Diseño de tanques automatizados para la reserva de aguas lluvias. *Universidad tecnologica de Pereira*, 11-15.
- Alder, I., Carmona, G., & Bojalil, J. A. (2008). *Academia*. Obtenido de https://www.academia.edu/6712743/MANUAL_DE_CAPTACION_DE_AGUAS_DE_LLUVIA_PARA_CENTROS_URBANOS_MANUAL_DE_CAPTACION_DE_AGUAS_DE_LLUVIA_PARA_CENTROS_URBANOS
- Ballén, J., Galarza, M., & Ortiz, R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. *VI SEREA*, 9-11.
- Bedoya, P., & Loaiza, Y. (2011). *Estudio de factibilidad para a creación de la empresa "Empleos especializados Ltda" en la ciudad de Pereira*. Pereira: Universidad tecnologica de Pereira.
- Beltrán, F. (2015). Nuevo modelo matemático-probabilístico de lluvias en el Distrito Metropolitano de Quito. *IDD.CONSULTORES*, 1-2.
- Boluda, N. (2014). *Determinación de parámetros en aguas implicadas en procesos de desalación. Calculo del Indice de Saturación de Langelier*. Alicante.
- CEPAL. (2012). *SENAGUA*. Obtenido de <https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20Ilc%202012-2.pdf>.
- Damia Solar. (2020). *Damia Solar*. Obtenido de https://www.damiasolar.com/productos/bomba_solar/sensor-de-nivel-de-agua-para-depositos-y-cisternas_da1408_115
- Despins, C. (2012). *Guidelines Residential Rainwater Harvesting Systems Handbook*. Toronto: CMHC.
- DMQ. (2011). *Plan Metropolitano de ordenamiento territorial 2012-2022*. Quito.
- EPMAPS, Q. (2020). Captación. *EPMAPS-AGUA DE QUITO*, págs. 1-2.
- FAO. (2000). Manual de captación y aprovechamiento del agua lluvia. Experiencias en América Latina. *FAO*.
- Galárraga, R. (2000). Agua para el siglo XXI para América del Sur. Desde la visión a la acción. *CEPAL*.

- Gonzaga, G. (2015). Diseño de un sistema de captación de agua lluvia para uso doméstico en la isla Jambeli, Canton Santa Rosa, Provincia de El Oro.
- Ideal. (2014). *Datos técnicos de hidráulica. Bombas*. Valencia.
- INAMHI. (2012). *Mapa de cuencas hidrográficas en el Ecuador*. Quito.
- INEC. (2010). *Censo de población y vivienda*. Quito.
- Leal, E. (2014). *Sensores de nivel*. Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda".
- LENNTECH. (2020). *Langelier Saturation Index Calculator*.
- Martínez, E., & Paucar, S. (2019). Propuesta de un sistema de reutilización de aguas lluvia para la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT).
- Mejía, I., & Urcuango, C. (2019). Propuesta de tratamiento de aguas grises provenientes de duchas y lavabos para su reutilización en inodoros.
- MIDUVI. (2018). Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- NEC. (2011). *Norma Ecuatoriana de la Construcción. Norma Hidrosanitaria (NHE) Agua*. Quito: Quito.
- NTE-INEN, 1. (2015). *Artefactos sanitarios. Clasificación*. Quito: Quito.
- NTE-INEN-974. (2016). *Agua Potable. Determinación de la dureza total por titulación con EDTA*. Quito: Quito.
- OPS. (2004). *Guía de diseño para captación de agua lluvia*.
- Pacheco, M. (2008). Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): Contribuciones al consumo sostenibles del agua, el caso de "Lluviatl" en México. *Revista Internacional de Sostenibilidad Tecnología y humanismo*, 157.
- Palacio, N. (2010). *Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa Maria Auxiliadora de Caldas, Antioquia*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Pedrollo. (2020). *Sistemas Hidroneumáticos*.
- Plastigama. (2018). Tuberías y accesorio de PVC Y PE BD.
- Poza, A. (2020). Grupos de bombeo actuales e innovaciones.
- SENAGUA. (2009). Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador escala 1:250000 nivel 5.
- SNGR/ECHO/UNISDR. (2012). *Ecuador: Referencias básicas para la Gestión de Riesgos, SNGR, Quito*. Quito: Quito.

USFQ. (2008). *Universidad San Francisco de Quito: Atlas ambiental del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Quito.

USFQ. (2015). *Atlas Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Quito.

Velasco, H., & Carmona, G. (1980). *Cosecha de agua de lluvia para consumo humano, consumo pecuario y agricultura de secano*. Nueva León: Universidad Autonoma de Nueva León.

Yáñez, L., Franco, P., Bastidas, W., & Córdova, V. (2017). Resumen del Plan Nacional de Gestión Integrada e Integral de los recursos hídricos y de las cuencas y microcuencas hidrográficas de Ecuador. *Aqua-LAC*, 1-2.

ANEXOS

ANEXO 1.

Tablas y gráficas de referencia

Anexo 1.1. Coeficientes de escorrentía de acuerdo con el material de la superficie de captación

Material de la Superficie	Coeficiente de Escorrentía (Ce)
Metal - galvanizado	0,9
Concreto - asfalto	0,7 - 0,95
Tejas de arcilla	0,8 - 0,9
Madera	0,8 - 0,9
Paja	0,6 - 0,7
Grava	0,15 - 0,3
Césped	0,05 - 0,3

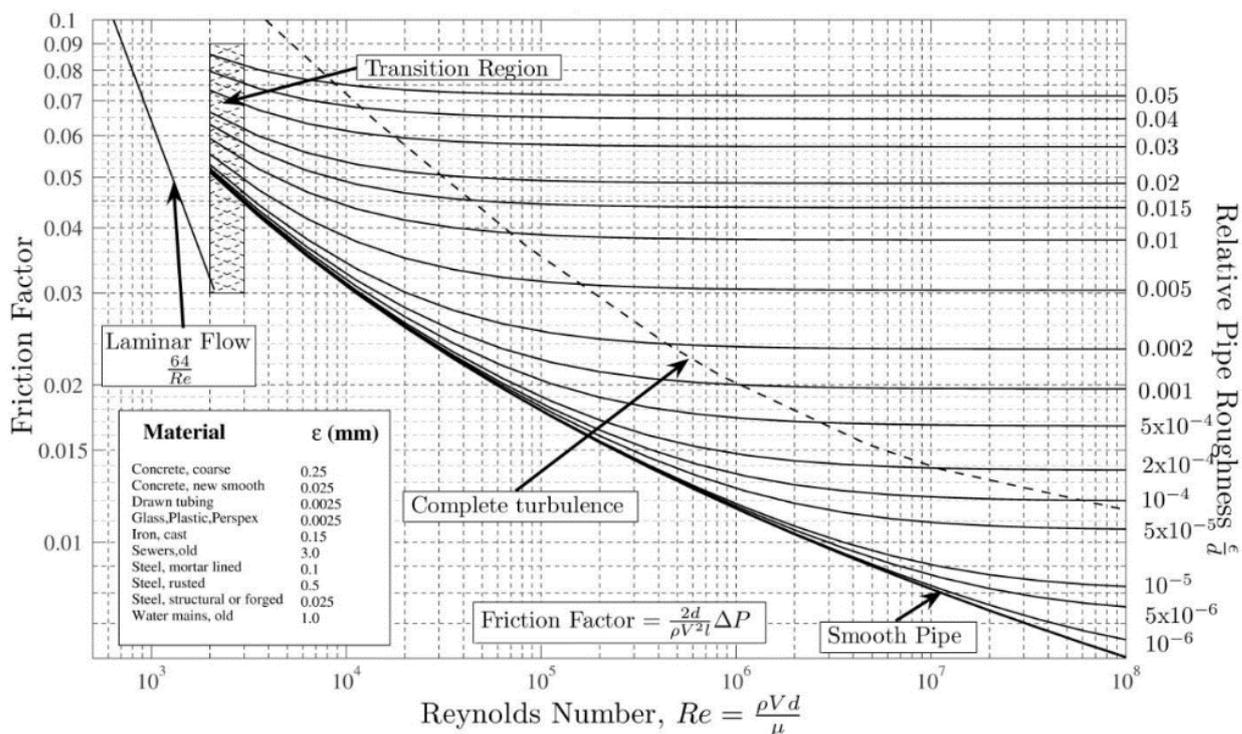
Anexo 1.2. Coeficiente de Manning

Tipo de conducción libre	Mínimo	Normal	Máximo
I.- Tuberías parcialmente llenas			
Plástico (PVC, PE, PRFV, ...)	0'008	0'009	0'010
Acero	0'010	0'012	0'014
Fundición no revestida	0'012	0'014	0'016
Fundición revestida	0'011	0'012	0'013
Vidrio	0,009	0'010	0'012
Cemento pulido	0'010	0'011	0'013
Mortero de cemento	0'011	0'013	0'015
Hormigón en masa vibropresado o armado	0'011	0'013	0'014
Cerámica vitrificada	0'011	0'013	0'015
Arcilla (para drenaje)	0'012	0'014	0'016
Ladrillo con mortero de cemento (albañales)	0'012	0'015	0'017
Mampostería con cemento	0'017	0'025	0'030
II.- Canales revestidos			
Cemento	0'010	0'011	0'013
Mortero	0'011	0'013	0'015
Hormigón acabado a llana	0'011	0'013	0'015
Hormigón en bruto	0'014	0'017	0'020
Ladrillo	0'012	0'015	0'018
Mampostería labrada y rejuntada	0'013	0'016	0'020
Mampostería con cemento	0'017	0'025	0'030
Mampostería en seco	0'025	0'030	0'035
Conductos metálicos semicirculares, lisos	0'011	0'013	0'015

Anexo 1.3. Rugosidad absoluta del material

Material	ϵ [mm]
Vidrio, cobre, latón, madera, acero nuevo, plástico, hule	0,0015
Latón	0,025
Madera	0,2
Hierro forjado	0,05
Hierro fundido nuevo	0,25
Hierro fundido con protección interior de asfalto	0,12
Hierro fundido oxidado	1 - 1,5
Hierro fundido con incrustaciones	1,5 - 3

Anexo 1.4. Diagrama de Moody – Rose



Anexo 1.5. Factor de pérdida de acuerdo con el tipo de accesorio

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

Anexo 1.6. Ciclos por hora de encendido y apagado del grupo motor-bomba

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

ANEXO 2.

Parámetros de calidad del agua

Anexo 2.1. Temperatura del agua lluvia

Temperatura (°C)																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Med	
Mes 1				16	15	15	15,5	15,5		15		15					15														15,5	15	15,3
Mes 2		15,5			15,5	15,5														15,5	15	15,5		15		15,5		15	15,5			15,4	
Mes 3	15							15,5	15,5					15						15	15	15	15		15	15	15	15	15			15,1	
																																Med	15,2

Anexo 2.2. pH del agua lluvia

Potencial Hidrógeno (pH)																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Med	
Mes 1				6,8	6,8	6,9	6,7	6,9		7,7		7,4					7,7													7,1	6,7	7,1	
Mes 2		6,7			6,9	7,9														6,4	7,1	6,1		7,2		7,1		6,1	6,3			6,8	
Mes 3	6,0							6,2	6,1					6,2						6,6	6,7	6,6	6,7		6,4	6,3	6,5	6,6	6,7			6,4	
																																Med	6,8

Anexo 2.3. Conductividad del agua lluvia

Conductividad (uS/cm)																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Med	
Mes 1				24,7	20	30,6	18,3	21,2		32,4		19,7					17,4													17,4	21,1	22,3	
Mes 2		17,3			19,3	16,2														28,8	19,4	17,6		17,5		19,8		14,0	17,7			18,8	
Mes 3	17,8							16,7	16,6					22,4						18,4	17,3	19,3	16,7		17,3	17,4	19,1	16,4	17,1			17,9	
																																Med	19,6

Anexo 2.4. Turbiedad del agua lluvia

Turbiedad (NTU)																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Med	
Mes 1				4,6	2,9	2,2	4,1	2,6		6,4		3,8					6													4,9	1,1	3,9	
Mes 2		4,4			5,5	4,7														3,7	4,6	3,7		4,3		4,8		3,8	3,6			4,3	
Mes 3	4,6							3,7	4,3					4,9						3,7	3,1	1,9	4,3		4,2	2,6	3,9	4,3	4,9			3,9	
																																Med	4,0

Anexo 2.5. Dureza total del agua lluvia

Dureza Total (mg / L)																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Med	
Mes 1				30	20	30	20	30		30		30					30													10	20	25	
Mes 2		30			20	10														50	30	30		10		20		20	20			24	
Mes 3	30							20	20					30						20	20	20	10		20	10	20	20	20			20	
																																Med	23

Anexo 2.6. Alcalinidad del agua lluvia

Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Med	
Mes 1				11	11	10	11	11		19		16					18													13	12	13	
Mes 2		11			10	15														11	13	7		14		12		8	7			11	
Mes 3	11							9	10					6						9	18	13	12		14	8	9	11	9			11	
																																Med	12

ANEXO 3.

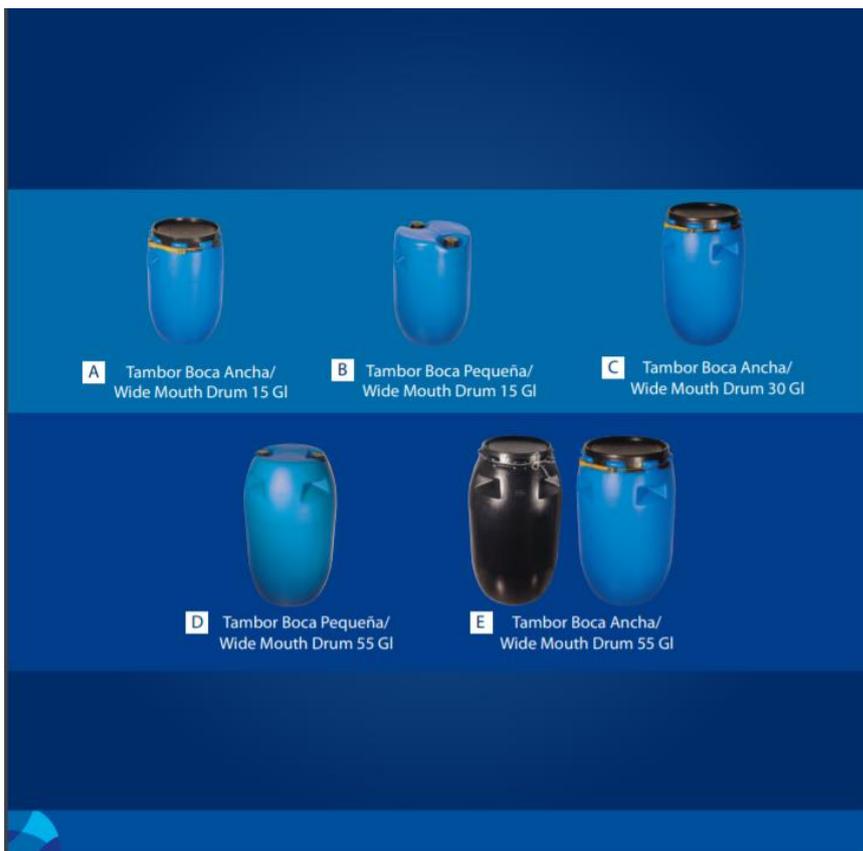
Catálogos de referencia

Anexo 3.1. Tanque de primeras aguas prototipo



A-Z	Código Code	Nombre Producto Product Name	Tipo de Producto Type Product	Dimensiones Dimensions
J	0207107	Barril Roscado / Threaded Barrel 5 gl	Elaborada en polietileno de alta densidad Made in high density polyethylene	Altura / height: 376 mm Diámetro externo /External Diameter: 153.5 mm Diámetro interno /Internal Diameter: 149.7 mm Tapa plástica / Plastic lid
K	0207103	Barril Roscado con llave / Threaded Barrel with tap 5 gl	Elaborada en polietileno de alta densidad Made in high density polyethylene	Altura / height: 376 mm Diámetro externo /External Diameter: 153.5 mm Diámetro interno /Internal Diameter: 149.7 mm Tapa plástica / Plastic lid
L	0204385F	JC 2.5 GL. Apilable / JC Stackable 2.5 gl	Elaborada en polietileno de alta densidad Made in high density polyethylene	Altura / height: 363 mm Ancho / Width: 168 mm - Largo / Length: 220 mm Diámetro externo /External Diameter: 302 mm Diámetro interno /Internal Diameter: 266 mm Tapa con arandela termoplástica anillo de seguridad/ Lid with Thermoplastic packaging and security seal
M	0204999	JC 5 GL. Apilable / JC Stackable 5 gl	Elaborada en polietileno de alta densidad Made in high density polyethylene	Altura / height: 426 mm Ancho / Width: 273 mm - Largo / Length: 273 mm Diámetro externo /External Diameter: 142.5 mm Diámetro interno /Internal Diameter: 125 mm Tapa con arandela termoplástica anillo de seguridad/ Lid with Thermoplastic packaging and security seal
N	0204309	JC italiano 5 GL. Apilable / JC italian Stackable 5 gl	Elaborada en polietileno de alta densidad Made in high density polyethylene	Altura / height: 410.5 mm Ancho / Width: 220 mm - Largo / Length: 269.5 mm Diámetro externo /External Diameter: 65.04 mm Diámetro interno /Internal Diameter: 49.8 mm Tapa con arandela termoplástica anillo de seguridad/ Lid with Thermoplastic packaging and security seal
O	0205102	JC sello de seguridad 10 gl. / JC security seal 10 gl	Elaborada en polietileno de alta densidad Made in high density polyethylene	Altura / height: 508.5 mm Ancho / Width: 278 mm - Largo / Length: 341 mm Diámetro externo /External Diameter: 64.22 mm Diámetro interno /Internal Diameter: 50.14 mm Tapa con arandela termoplástica anillo de seguridad/ Lid with Thermoplastic packaging and security seal

Anexo 3.2. Tanque de almacenamiento - Prototipo



A-Z	Código Code	Nombre Producto Product Name	Tipo de Producto Type Product	Dimensiones Dimensions
A	0701106	Tambor Boca Ancha/ Wide Mouth Drum 15 gl	Elaborada en polietileno de alta densidad Made in high density polyethylene	Altura / height: 615 mm Diámetro externo /External Diameter: 345 mm Diámetro interno /Internal Diameter: 335 mm Diámetro del Cuerpo /Body Diameter: 400 mm Tapa plástica / junta de goma / zuncho metálico para seguridad Plastic cap / rubber gasket / metal band for safety
B	0701105	Tambor Boca Pequeña/ Wide Mouth Drum 15 gl	Elaborada en polietileno de alta densidad Made in high density polyethylene	Altura / height: 508.5 mm Diámetro externo /External Diameter: 64.22 mm Diámetro interno /Internal Diameter: 50.14 mm Tapa con arandela termoplástica Lid with Thermoplastic packaging
C	0701104	Tambor Boca Ancha/ Wide Mouth Drum 30 gl	Elaborada en polietileno de alta densidad Made in high density polyethylene	Altura / height: 816 mm Diámetro externo /External Diameter: 400 mm Diámetro interno /Internal Diameter: 390 mm Diámetro del Cuerpo /Body Diameter: 490 mm Tapa plástica / junta de goma / zuncho metálico para seguridad Plastic cap / rubber gasket / metal band for safety

Anexo 3.3. Tanque de almacenamiento




TANQUES PLASTIGAMA

Para almacenar productos de consumo humano,
fabricados con Polietileno 100% virgen.



NUEVAS DIMENSIONES 2500 litros
5000 litros



Tanque Cilíndrico Horizontal

CAPACIDAD	INCLUYE KIT
500 litros	1/2"
1300 litros	3/4"
2500 litros	3/4"
5000 litros*	

USO SUPERFICIAL



Tanque Cilíndrico Horizontal / Titán*

CAPACIDAD
1200 litros
2000 litros
4000 litros

USO ENTERRADO



Tanque Cilíndrico Vertical de Grandes Volúmenes*

CAPACIDAD
5000 litros
10000 litros
15000 litros
20000 litros

USO SUPERFICIAL



Tanque Cilíndrico Vertical / Tipo botella

CAPACIDAD	INCLUYE KIT
250 litros	1/2"
500 litros	1/2"
1100 litros	3/4"
2500 litros	3/4"

USO SUPERFICIAL



Tanque Cónico

CAPACIDAD	INCLUYE KIT
250 litros	1/2"
500 litros	1/2"
1000 litros	1/2"
2000 litros	3/4"

USO SUPERFICIAL



Tanque Rectangular

CAPACIDAD	INCLUYE KIT
500 litros	1/2"

USO SUPERFICIAL



Tanque Cilíndrico Vertical*

CAPACIDAD
55 Galones

USO SUPERFICIAL

**TUS TANQUES VIENEN CON
KIT DE INSTALACIÓN DE 1/2" O 3/4"**








Adaptador Codo 90° Codo Cachimba Unión Universal Tee Neplo

Se recomienda utilizar adicionalmente una válvula universal de PVC de 1/2" a 3/4" dependiendo del kit.

*Los tanques Cilíndrico Horizontal de 5000 litros, Cilíndrico Horizontal / Titán, Cilíndrico Vertical de Grandes Volúmenes y Vertical de 55 galones, no incluyen kit.

Anexo 3.4. Tubería 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	Espesor Nominal	Presión de Trabajo		
UNIÓN U/Z	UNIÓN E/C			mm	mm	MPa
	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

Anexo 3.5. Bomba periférica

Electrobombas con rodete periférico

 Agua limpia

 Uso doméstico



CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **90 l/min** (5.4 m³/h)
- Altura manométrica hasta **100 m**

LÍMITES DE USO

- Altura de aspiración manométrica hasta **8 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C** hasta **+60 °C**
- Temperatura ambiente hasta **+40 °C** (**+50 °C** para PK 60)
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba:
 - **6 bar** para PK 60, PK 60-MD, PK 65,
 - **7 bar** para PK 70, PK 80
 - **10 bar** para PK 90, PK 100, PK 200, PK 300
- Funcionamiento continuo **S1**

EJECUCIÓN Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1
IEC 60335-1
CEI 61-150

EN 60034-1
IEC 60034-1
CEI 2-3



CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV
ISO 9001: CALIDAD

USOS E INSTALACIONES

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.

Por su confiabilidad, simplicidad en el uso y por su ventaja económica, son aptas para el uso doméstico y en particular para la distribución del agua acopladas a pequeños tanques de presión, para irrigación de huertos y jardines.

La instalación se debe realizar en lugares cerrados, bien aireados y protegidos de la intemperie.

PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Soporte: patente n° IT1243605
- Eje motor: patente n° 0000275945 (PK60, PK65)
- Cuerpo: patente n° 0000275946 (PK60, PK65)
- Modelo comunitario registrado n° 004673192
- **PKm 60*** Marca registrada n° 009875394

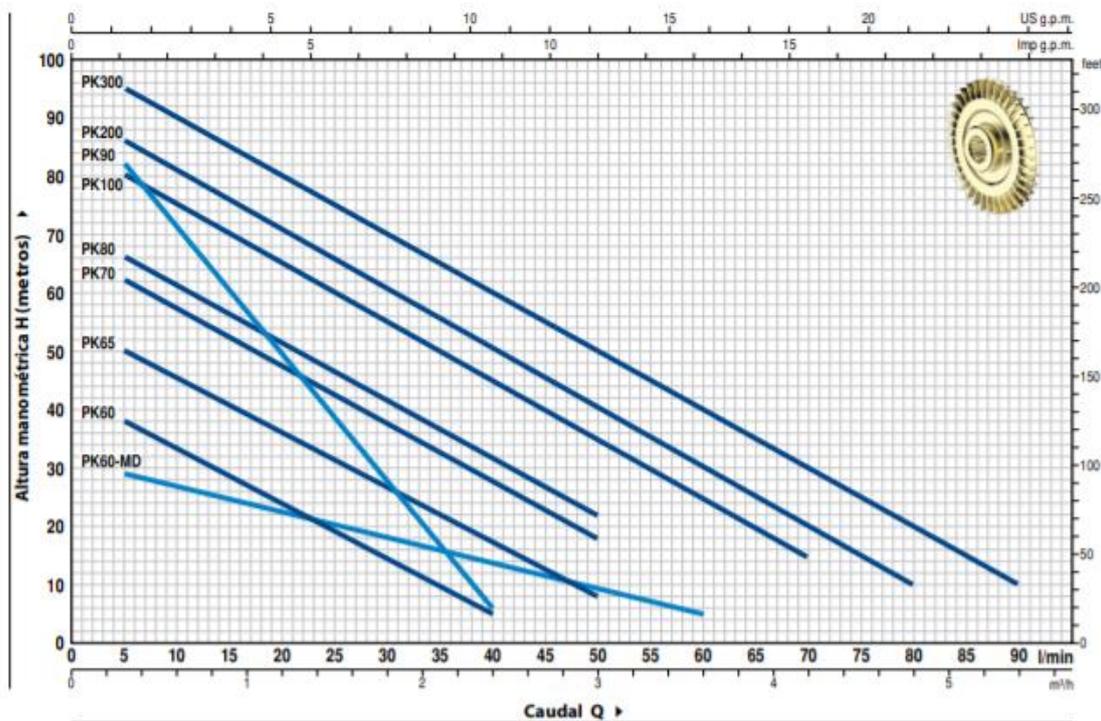
EJECUCIÓN BAJO PEDIDO

- Cuerpo bomba con bocas roscadas NPT ANSI B 1.20.1
- Sello mecánico especial
- Otros voltajes
- Protección IP X5 para PK 70-80-90-100-200-300



CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 min⁻¹ HS= 0 m



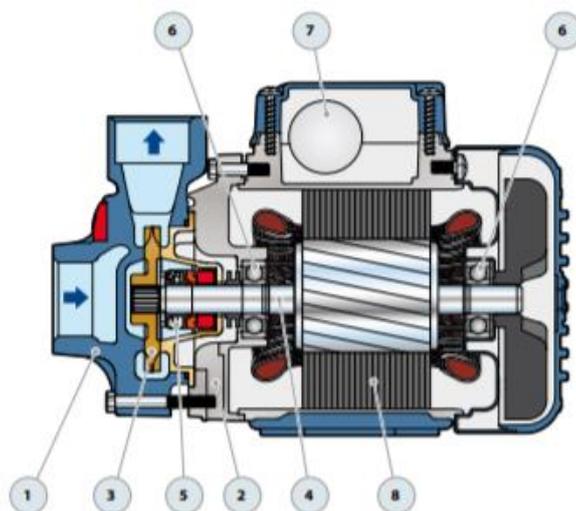
MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	H metros															
Monofásica	Trifásica	kW	HP ▲		0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4		
				l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90		
PKm 60	PK 60	0.37	0.50	H metros	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5							
PKm 60-MD	PK 60-MD	0.37	0.50		IE2	30	29	26.5	24.5	22.5	20.5	18	16	13.5	9.5	5				
PKm 65	PK 65	0.55	0.75		55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8						
PKm 70	PK 70	0.60	0.85		65	62	57	52	47	42	37	32	27	18						
PKm 80	PK 80	0.75	1		70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22						
PKm 90	PK 90	0.75	1		90	82	71	60	49	38	27	17	5							
PKm 100	PK 100	1.1	1.5		IE3	85	80	75	70	65	60	55	50	45	35	25	15			
PKm 200	PK 200	1.5	2		90	86	81	76	71	65.5	60	55	50	40	30	20	10			
PKm 300	PK 300	2.2	3		100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10		

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

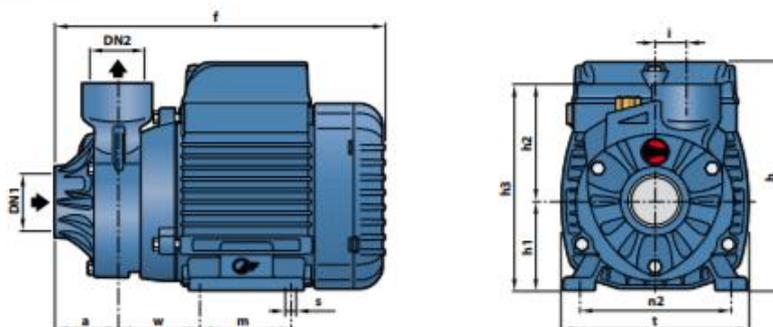
Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado 3B.

▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)

POS. COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS					
1 CUERPO BOMBA	Hierro fundido con bocas roscadas ISO 228/1 (PK 60, PK 60-MD con tratamiento de cataforesis)					
2 SOPORTE	Aluminio con tapa en latón y laminilla de ajuste frontal antibloqueo (patentado)					
3 RODETE	Latón, del tipo aletas periféricas radiales					
4 EJE MOTOR	Acero inoxidable AISI 431 (EN 10088-3 - 1.4104 para PK 60, PK 60-MD, PK 65)					
5 SELLO MECANICO	Electrobomba	Sello	Eje	Materiales		
	<i>Modelo</i>	<i>Modelo</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Anillo fijo</i>	<i>Anillo móvil</i>	<i>Elastómero</i>
	PK 60-65-70-80 PK 60-MD	AR-12	Ø 12 mm	Cerámica	Grafito	NBR
	PK 90	ST1-12	Ø 12 mm	Carburo de silicio	Grafito	NBR
	PK 100-200-300	FN-14	Ø 14 mm	Grafito	Cerámica	NBR
6 RODAMIENTOS	Electrobomba	Modelo				
	PK 60-65	6201 ZZ / 6201 ZZ				
	PK 60-MD	6201 ZZ / 6201 ZZ				
	PK 70-80-90	6203 ZZ / 6203 ZZ				
	PK 100-200-300	6204 ZZ / 6204 ZZ				
7 CONDENSADOR	Electrobomba	Capacidad				
	<i>Monofásica</i>	<i>(220 V)</i>		<i>(110 V ó 127 V)</i>		
	PKm 60	10	µF - 450 VL	25	µF - 250 VL	
	PKm 60-MD	10	µF - 450 VL	25	µF - 250 VL	
	PKm 65	14	µF - 450 VL	25	µF - 250 VL	
	PKm 70	16	µF - 450 VL	60	µF - 300 VL	
	PKm 80	20	µF - 450 VL	60	µF - 300 VL	
	PKm 90	20	µF - 450 VL	60	µF - 300 VL	
	PKm 100	31.5	µF - 450 VL	60	µF - 250 VL	
	PKm 200	45	µF - 450 VL	80	µF - 250 VL	
PKm 300	50	µF - 450 VL	-			
8 MOTOR ELÉCTRICO	PKm: monofásica 220 V - 60 Hz con protección térmica incorporada en el bobinado.					
	PK: trifásica 220/380 V - 60 Hz o 220/440 V - 60 Hz.					
	→ Las electrobombas trifásicas están equipadas con motores de alto rendimiento en clase IE2 hasta P ₂ =0.55 kW y en clase IE3 desde P ₂ =0.60 kW (IEC 60034-30-1)					
	- Aislamiento: clase F - Protección: IP X4					



DIMENSIONES Y PESOS



MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm													kg	
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	h3	i	m	t	n2	w	s	1-	3-	
PKm 60*	PK 60*	1"	1"	38	208	145	56	75	131	20	55	118	94-100	53	7	5.2	5.2	
PKm 60*-MD	PK 60*-MD				237	153	63		138							80	120	100
PKm 65	PK 65			55	285	179*	71	85	156		90	140	112			62	7.0	6.3
PKm 70	PK 70																10.0	10.0
PKm 80	PK 80	3/4"	3/4"	46	278	84	155	19	90	140	112	62	95	9	9.9	10.0		
PKm 90	PK 90														10.2	10.1		
PKm 100	PK 100														15.0	14.9		
PKm 200	PK 200	1"	1"	62	356	212	80	88	168	19	100	152	125	95	9	15.9	15.9	
PKm 300	PK 300				376											18.6	18.6	

(*) h=199 mm para versión monofásica en 110 V

CONSUMO EN AMPERIOS

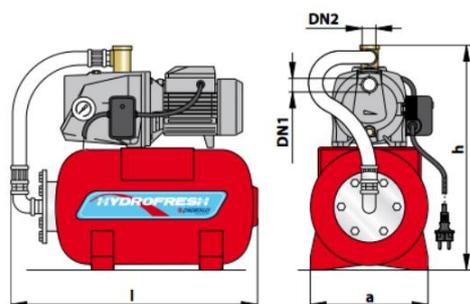
MODELO	TENSIÓN		
	220 V	110 V	127 V
Monofásica			
PKm 60*	2.6 A	5.5 A	5.3 A
PKm 60*-MD	3.3 A	6.5 A	6.0 A
PKm 65	5.8 A	11.5 A	10.0 A
PKm 70	5.2 A	10.8 A	9.0 A
PKm 80	6.5 A	13.0 A	12.0 A
PKm 90	6.0 A	12.0 A	10.4 A
PKm 100	9.0 A	18.0 A	15.6 A
PKm 200	12.0 A	24.0 A	20.8 A
PKm 300	12.5 A	-	-

MODELO	TENSIÓN			
	220 V	380 V	220 V	440 V
Trifásica				
PK 60*	2.0 A	1.15 A	2.1 A	1.2 A
PK 60*-MD	2.4 A	1.4 A	2.5 A	1.4 A
PK 65	3.2 A	1.85 A	3.5 A	2.0 A
PK 70	3.8 A	2.2 A	3.8 A	2.2 A
PK 80	3.8 A	2.2 A	4.3 A	2.4 A
PK 90	4.2 A	2.4 A	4.2 A	2.4 A
PK 100	6.2 A	3.6 A	6.2 A	3.15 A
PK 200	9.2 A	5.3 A	7.0 A	4.2 A
PK 300	10.0 A	5.8 A	8.2 A	4.8 A

PALETIZADO

MODELO		PARA GRUPAJE	PARA CONTAINER
Monofásica	Trifásica	n° bombas	n° bombas
PKm 60*	PK 60*	240	330
PKm 60*-MD	PK 60*-MD	189	243
PKm 65	PK 65	189	243
PKm 70	PK 70	102	170
PKm 80	PK 80	102	170
PKm 90	PK 90	102	170
PKm 100	PK 100	72	96
PKm 200	PK 200	72	96
PKm 300	PK 300	72	96

Anexo 3.6. Tanque hidroneumático



MODELO	BOCAS		DIMENSIONES mm			PESO kg
	DN1	DN2	l	a	h	
PKm 60 - 24 CL	1"	1"	540	255	503	13.2
PKm 65 - 24 CL	1"	1"	540	255	508	14.8
CPm 620 - 24 CL	1"	1"	540	255	585	19.9
CPm 650 - 24 CL	1¼"	1"	540	255	605	26.3
JSWm 1BX - 24 CL	1"	1"	540	265	486	17.9
JSWm 1AX - 24 CL	1"	1"	540	265	486	18.2
JSWm 10MX - 24 CL	1"	1"	540	315	507	21.6
JSWm 12MX - 24 CL	1"	1"	540	315	507	22.6
JSWm 15MX - 24 CL	1"	1"	540	315	507	23.0
JCRm 1B - 24 CL	1"	1"	540	255	519	14.3
JCRm 1A - 24 CL	1"	1"	540	255	519	14.8
JCRm 10M - 24 CL	1¼"	1"	540	255	551	17.3
JCRm 15M - 24 CL	1¼"	1"	540	255	551	18.4

HYDROFRESH 24 CL

PKm 60 - 24 CL	0.37	0.50	32	1.4 ÷ 2.8
PKm 65 - 24 CL	0.50	0.70	40	1.5 ÷ 3.0
CPm 620 - 24 CL	0.75	1	90	1.8 ÷ 3.2
CPm 650 - 24 CL	1.1	1.5	120	2.2 ÷ 3.5
JSWm 1BX - 24 CL	0.50	0.70	50	1.4 ÷ 2.8
JSWm 1AX - 24 CL	0.60	0.85	50	1.8 ÷ 3.2
JSWm 10MX - 24 CL	0.75	1	80	1.4 ÷ 2.8
JSWm 12MX - 24 CL	0.90	1.25	80	2.0 ÷ 3.5
JSWm 15MX - 24 CL	1.1	1.5	80	2.5 ÷ 4.0
JCRm 1B - 24 CL	0.50	0.70	50	1.4 ÷ 2.8
JCRm 1A - 24 CL	0.60	0.85	50	1.8 ÷ 3.2
JCRm 10M - 24 CL	0.75	1	80	1.4 ÷ 2.8
JCRm 15M - 24 CL	1.1	1.5	80	2.5 ÷ 4.0

COMPONENTES:

- Electrobomba monofásica
- Tanque
- Presostato
- Manómetro
- Tubo flexible (para 24CL y 60CL)
- Conexión en latón
- Cable de alimentación de 1.5 metros con enchufe Shuko

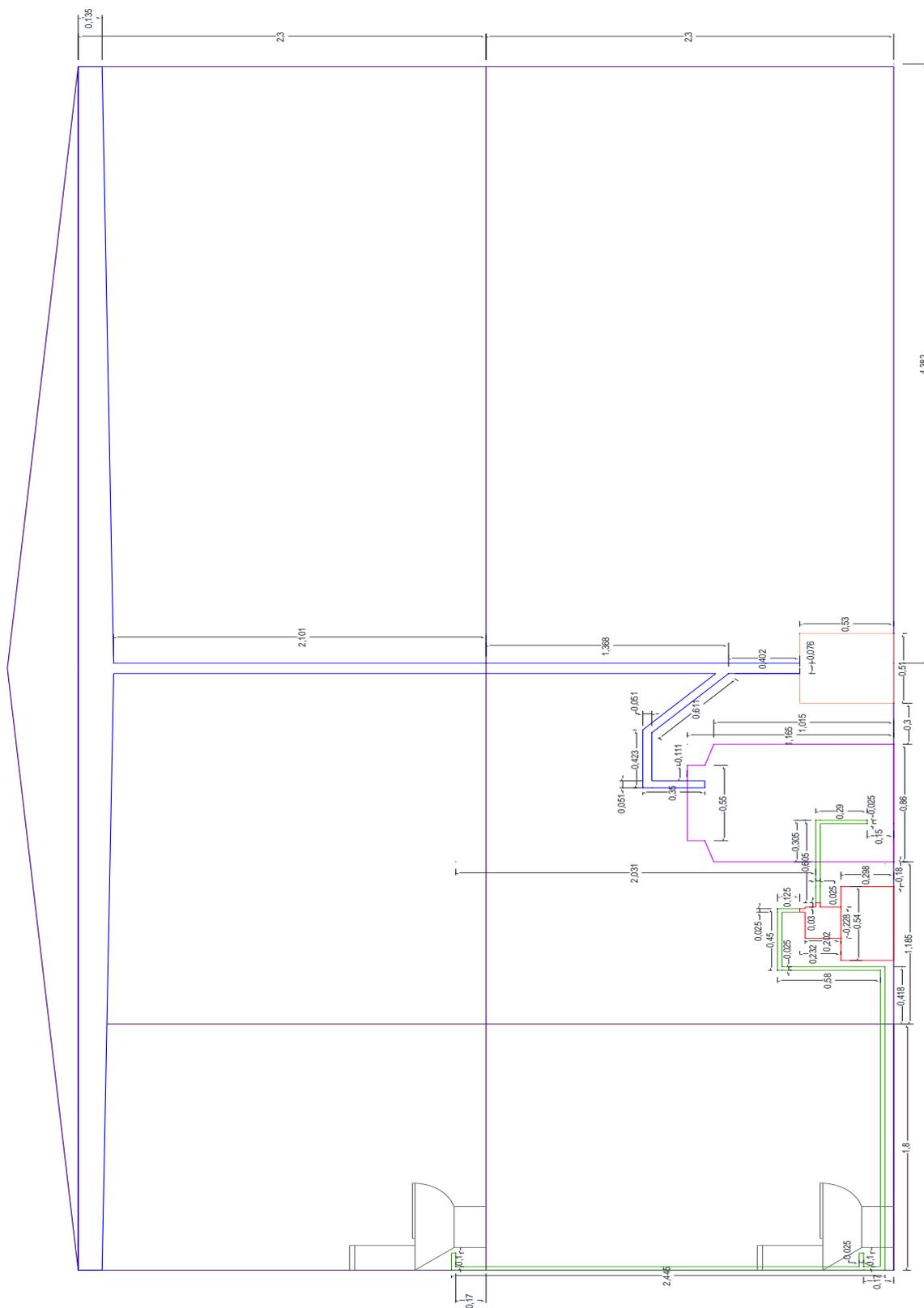
(1) Caudal máximo relativo a la presión mínima recomendada por el presostato

(2) Ajuste del presostato (recomendado)

ANEXO 4.

Planos

Anexo 4.1. Planos de la casa completo -vista frontal



ANEXO 5.

Precipitaciones anuales y mensuales

Anexo 5.1. Precipitación mensual y anual de la estación Izobamba en el periodo 1990 - 2018

Precipitación mensual y anual [mm]																
Estación Izobamba (M0003)																
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Máx	Med	Suma
1990	76,7	157,4	62,4	292,5	85,7	15,2	65,4	25,1	43,5	190,6	48,6	74,1	15,2	292,5	94,8	1137,2
1991	125,4	104,7	180,8	95,4	147,7	91,2	43,9	14,4	116,7	133,5	138,8	142,3	14,4	180,8	111,2	1334,8
1992	53,9	80,0	98,6	178,1	121,8	37,4	24,7	17,4	114,9	118,8	88,5	92,7	17,4	178,1	85,6	1026,8
1993	141,9	227,3	237,4	234,3	130,5	9,7	21,7	17,1	91,4	88,0	102,3	244,9	9,7	244,9	128,9	1546,5
1994	180,6	178,3	244,0	220,6	224,7	11,5	24,5	7,6	86,8	75,2	197,1	159,5	7,6	244,0	134,2	1610,4
1995	53,9	61,4	208,4	168,8	107,9	84,8	53,2	100,5	50,7	137,1	209,9	124,9	50,7	209,9	113,5	1361,5
1996	160,9	220,7	223,7	237,4	212,5	75,2	30,0	39,8	45,6	163,6	74,2	83,6	30,0	237,4	130,6	1567,2
1997	233,4	102,0	194,9	168,1	104,1	112,8	4,6	17,0	71,1	150,5	250,3	195,3	4,6	250,3	133,7	1604,1
1998	83,1	143,2	205,9	264,7	224,9	49,6	37,6	72,0	57,4	192,5	181,4	44,7	37,6	264,7	129,8	1557,0
1999	93,4	251,3	269,5	152,3	201,0	134,5	7,9	43,6	157,2	104,2	160,3	192,5	7,9	269,5	147,3	1767,7
2000	161,2	184,6	268,8	231,4	250,5	137,7	42,6	28,8	167,7	49,9	57,9	73,7	28,8	268,8	137,9	1654,8
2001	144,8	168,2	226,3	133,6	102,0	38,2	36,1	12,4	91,4	7,9	119,0	192,6	7,9	226,3	106,0	1272,5
2002	94,0	93,4	201,4	248,0	132,7	69,7	26,5	11,8	22,9	129,6	185,0	243,6	11,8	248,0	121,6	1458,6
2003	144,7	104,4	111,5	183,7	118,0	117,8	7,9	32,2	101,3	153,2	200,1	110,5	7,9	200,1	115,4	1385,3
2004	58,9	66,1	74,8	150,4	147,4	24,3	28,6	3,1	98,7	136,3	152,7	187,7	3,1	187,7	94,1	1129,0
2005	33,3	201,4	210,2	115,7	100,1	66,8	50,6	53,9	84,1	83,7	105,8	159,4	33,3	210,2	105,4	1265,0
2006	93,3	188,8	167,5	262,0	76,3	92,2	13,1	23,6	51,6	76,5	245,9	174,6	13,1	262,0	122,1	1465,4
2007	171,3	55,1	229,9	264,3	243,6	59,7	62,6	34,8	16,4	201,9	326,2	117,8	16,4	326,2	148,6	1783,6
2008	246,6	275,5	263,5	257,0	216,4	111,5	28,5	96,7	103,1	199,5	108,0	126,0	28,5	275,5	169,4	2032,3
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	7,1	295,4	126,4	1516,2
2010	45,6	103,7	114,2	289,2	149,2	100,4	196,2	52,5	79,5	89,7	249,4	304,8	45,6	304,8	147,9	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	30,4	262,4	124,0	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	10,6	254,3	116,7	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	8,3	239,0	96,7	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	12,5	242,3	116,1	1393,0
2015	94,9	73,5	233,3	152,2	102,4	10,6	30,0	6,6	21,4	118,2	193,4	49,7	6,6	233,3	90,5	1086,2
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	10,6	318,7	116,2	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	5,1	331,1	143,6	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	12,0	253,1	112,5	1349,6
Min	33,3	55,1	62,4	95,4	64,9	9,7	4,6	3,1	9,7	7,9	28,9	30,5	3,1			
Máx	295,4	275,5	331,1	318,7	250,5	149,7	196,2	100,5	167,7	201,9	326,2	304,8		331,1		
Med	131,9	154,1	197,7	202,5	153,0	63,7	34,1	34,7	71,0	127,2	146,5	140,3			121,4	
Sum	3824,2	4469,7	5734,6	5873,1	4436,4	1848,3	988,8	1006,6	2059,1	3688	4248,1	4068				42244,9

Anexo 5.2. Precipitación máxima de un día registrada en la estación Izobamba en el periodo 1990 – 2018

Precipitación máxima de un día [mm]													Máx
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
1990	19,1	25,1	23,6	46,6	18,4	8,1	25,8	9,6	18,3	47	14,4	21,8	47
1991	28,6	22,4	19,6	14,4	26,2	35,8	12,9	7,6	25,7	23,4	16,2	33,3	35,8
1992	12,2	28,8	16	32,8	37,6	18,7	22,7	7,5	20,7	19	17,1	25	37,6
1993	23,3	36,9	36	42,6	18,6	2,5	7	10,3	26,2	25,5	17,7	41,8	42,6
1994	32	36,4	26,2	30,3	45,7	5	9,2	2,4	22	28,1	41,1	30,3	45,7
1995	16,7	20,5	57,4	19,1	21	19,1	11,3	21,8	16,1	21,6	29,8	14,5	57,4
1996	28,4	38,4	47,2	43,1	17,5	20,1	12,8	9,4	11,2	23	18,3	24,4	47,2
1997	27,9	16,4	34,2	39	17,1	35,4	3,7	17	22	19	54,7	34	54,7
1998	20	26,3	35,6	27,8	39,9	21,7	8,6	29,6	12,8	28,8	25,5	14,6	39,9
1999	14,1	32,1	45,6	30,4	30,9	25,3	5,2	8,3	28,7	15,9	34,2	21,2	45,6
2000	18,7	27	35,5	29,1	38,2	34,6	11,4	10,5	37,3	7,7	12	12,2	38,2
2001	29,3	34,1	26,4	29,2	22,7	20,2	10	12,4	15,2	3	25,8	26	34,1
2002	30,1	18,8	40	47,8	34,5	24,3	14,3	5,8	4,7	17,6	37,4	32,6	47,8
2003	50,3	33,2	20,8	28	34	17,6	4,7	10,4	19,3	27,3	28,2	30	50,3
2004	19	11	20,4	24,7	37,9	13,9	11,2	1,4	18,8	26,8	20,9	71,4	71,4
2005	12,2	37,9	27,2	24,3	23,1	18,4	12,8	18,9	33	28,4	29,3	26,6	37,9
2006	14	30,8	27,4	31,2	14,8	28,1	5,8	14,1	10,7	21,3	31,9	31,2	31,9
2007	41,6	20	34,8	28,9	38,4	14,8	21,9	10,9	8,3	42,7	29,3	25,8	42,7
2008	23,2	30	37,4	38,3	20,3	20	10,3	28,2	32	42,6	13,8	21,6	42,6
2009	30,5	29,2	84,5	40,4	23	11,2	3,4	7,5	6,7	17,7	15,9	20,4	84,5
2010	29,3	23,3	44,6	32,6	45	30,2	44	28,8	15,7	19,3	35,6	36,1	45
2011	21,2	42,4	22,9	26,2	25,2	23,9	15	35,5	15,9	35,1	6,4	26,8	42,4
2012	28,7	45,2	28,4	23,7	13,3	3,2	14,7	13	15,1	28,5	28	7,3	45,2
2013	14,9	33,4	20,6	15,3	36,6	7,2	4	11,3	10,8	40	10,4	21,6	40
2014	36,7	24,4	25,2	43,2	30,3	21,1	10,4	26	21	25	29,8	22,5	43,2
2015	14	17,8	28,9	31,4	19,5	4,1	11,7	4,5	13,5	32,2	38,5	10,8	38,5
2016	18,1	25,1	44,6	37,8	29,4	12	4,5	6,2	16,9	22,7	12,5	29,5	44,6
2017	28,1	27,9	30,1	22,1	33	20,6	4,6	11,8	22,5	21,3	21,4	26,4	33
2018	28,5	26,8	23,7	26,9	29,5	8,8	4,2	19,8	19,8	57,9	29	18,7	57,9
Máx	50,3	45,2	84,5	47,8	45,7	35,8	44	35,5	37,3	57,9	54,7	71,4	84,5

Anexo 5.3. Precipitación mensual de la estación Iñaquito en el periodo 1987 - 2017

Precipitación mensual (mm)												
Estación Iñaquito (M0024)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1987	70,0	53,8	116,2	136,3	129,4	40,2	18,3	10,6	66,1	103,7	8,0	4,5
1988	75,1	118,0	25,2	297,8	114,0	100,2	44,8	50,4	138,9	109,5	128,8	63,5
1989	59,1	113,0	158,8	120,8	65,4	64,6	20,1	36,7	108,8	191,2	13,9	40,2
1990	46,6	150,2	79,7	123,3	19,7	21,1	15,4	37,1	27,8	246,8	39,9	46,8
1991	96,7	48,6	232,9	84,0	104,9	30,0	16,1	2,9	69,0	37,2	134,9	44,3
1992	51,3	68,7	105,0	96,1	127,6	14,3	17,9	14,7	109,9	78,3	107,4	45,2
1993	111,4	219,3	235,2	228,1	94,6	12,7	8,2	3,3	96,0	72,0	128,5	177,0
1994	193,4	112,2	244,4	201,1	103,2	0,9	2,9	3,4	27,9	90,2	186,8	79,9
1995	14,9	85,2	118,7	158,4	~	97,5	42,5	83,9	5,7	152,7	232,4	77,8
1996	146,5	138,3	181,8	199,4	189,4	37,2	29,0	83,2	84,5	169,4	14,4	47,7
1997	140,9	13,2	167,7	83,2	65,9	58,8	0,1	0,1	108,6	152,7	219,2	120,3
1998	58,1	86,5	127,5	143,9	193,9	14,5	32,2	18,8	58,8	103,6	138,6	32,6
1999	81,6	237,2	185,3	234,1	70,1	126,6	25,1	24,8	136,3	87,1	101,0	221,2
2000	177,3	165,8	149,5	187,6	123,8	66,4	22,1	9,7	67,3	43,8	16,7	76,1
2001	84,1	63,9	186,4	63,1	88,8	8,5	35,0	0,1	94,6	9,3	113,6	118,1
2002	36,6	59,1	123,1	256,6	1333,1	37,3	8,2	98,0	19,2	144,6	95,0	152,9
2003	25,4	79,1	100,1	244,6	28,7	54,1	15,7	~	67,8	117,7	159,4	103,2
2004	56,0	34,4	75,2	156,3	113,8	11,0	6,7	0,6	97,6	98,8	125,5	94,8
2005	37,9	150,6	134,3	84,2	37,7	31,8	53,4	26,8	35,6	116,0	58,4	115,1
2006	52,3	105,6	202,5	209,5	113,6	50,2	3,1	3,5	35,6	109,5	182,4	183,0
2007	66,2	67,5	177,2	188,1	101,0	22,2	12,5	33,4	3,0	160,1	194,7	~
2008	156,5	217,9	188,8	203,8	171,3	56,5	12,3	37,0	58,7	235,3	72,4	121,2
2009	165,8	141,5	173,8	161,3	62,7	35,0	2,6	1,0	7,4	69,4	71,3	120,0
2010	4,6	46,0	26,5	220,6	~	34,5	93,6	59,4	84,8	51,8	167,6	181,7
2011	82,4	182,4	145,8	372,9	55,2	28,5	117,3	48,9	73,3	54,8	65,7	107,0
2012	158,9	125,3	143,8	203,4	40,2	21,4	1,8	26,0	12,5	133,8	177,0	60,8
2013	43,0	196,4	83,1	111,0	115,4	0,3	0,1	18,2	31,8	141,7	48,0	46,6
2014	138,0	60,6	213,6	46,2	219,2	10,9	0,1	1,7	85,3	144,6	79,2	22,7
2015	63,3	112,8	177,4	102,8	30,8	2,5	46,0	21,0	6,5	91,5	109,3	28,3
2016	119,8	18,6	99,5	307,2	70,6	40,3	0,9	16,2	64,0	95,5	46,8	83,8
2017	204,9	162,9	294,2	174,1	236,3	88,8	1,1	39,3	16,9	166,4	64,9	146,9
Mín	4,6	13,2	25,2	46,2	19,7	0,3	0,1	0,1	3,0	9,3	8,0	4,5
Máx	204,9	237,2	294,2	372,9	1333,1	126,6	117,3	98,0	138,9	246,8	232,4	221,2
Med	90,9	110,8	150,7	174,2	145,5	39,3	22,7	27,0	61,3	115,5	106,5	92,1
Sum	2818,6	3434,6	4673,2	5399,8	4220,3	1218,8	705,1	810,7	1900,2	3579	3301,7	2763