

Propuesta De Variables Técnicas Para La Selección De Tecnología De Sistema De
Aprovechamiento De Aguas Lluvias A Nivel Residencial En El Contexto Rural De Países En
Desarrollo.

Iván Andrés Salazar Angarita y Juan David Naranjo Barrios

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Civil

Director

Edgar Ricardo Oviedo Ocaña.
Ingeniero Sanitario, MSc, PhD

Codirectora

Isabel Cristina Domínguez Rivera
Ingeniera Sanitaria, MSc, PhD

Universidad Industrial de Santander
Facultad de ingeniería Fisicomecánicas
Escuela de Ingeniera Civil
Bucaramanga

2021

Dedicatoria

Dedico este trabajo a todas las personas que creyeron en mí, que me apoyaron y no me dejaron que me rindiera. A todos ellos muchas gracias.

Juan David Naranjo Barrios.

A mi familia, amigos y profesores que han estado presentes en esta etapa de mi vida y que me apoyaron en todo el proceso. A todos ellos muchas gracias.

Iván Andrés Salazar Angarita.

Agradecimientos

Agradecimientos hacia el director Edgar Ricardo Oviedo Ocaña y la codirectora Isabel Cristina Domínguez Rivera por el apoyo y las enseñanzas necesarias para la realización de este trabajo, agradecimientos a la profesora Daniela Cristina Rey Romero por sus enseñanzas que fueron la base para este trabajo y al profesor David Sebastián Cotes por ser un excelente profesor y amigo.

Juan David Naranjo Barrios.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción.....	12
1. Objetivos.....	14
1.1. Objetivo General.....	14
1.2. Objetivos Específicos.....	14
2. Marco teórico.....	15
3. Metodología.....	17
3.1. Fase I: Caracterizar la oferta tecnológica.....	17
3.1.1. Revisión de literatura.....	17
3.1.2. Clasificación y descripción de la oferta tecnológica	18
3.2. Fase II: Caracterizar las variables técnicas para la selección de los sistemas.....	18
3.2.1. Reconocimiento y revisión de encuestas	18
3.2.2. Dimensionamiento de un SALL para un caso de estudio.....	19
3.2.3. Identificación de las variables técnicas para la selección de tecnologías.....	19
4. Resultados y discusión.....	20
4.1. Caracterización de la oferta tecnológica.....	20
4.1.1. Módulo de captación	20
4.1.2. Módulo de conducción	23
4.1.3. Tanque de almacenamiento	25
4.1.4. Tratamiento del agua lluvia	29
4.2. Caracterización de las variables técnicas para la selección de los sistemas.....	33
4.2.1. Dimensionamiento de un sistema para un caso de estudio específico	33
4.2.2. Variables técnicas para la selección de tecnologías de los SAALL.....	43
5. Conclusiones.....	47
Referencias bibliográficas.....	49
Apéndices.....	53

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Coeficientes de escorrentía para diferentes materiales.....	53
Tabla 2. Accesorios en PVC para instalaciones sanitarias-aguas lluvias y de ventilación	54
Tabla 3. Dimensiones canaleta horizontal según su capacidad	55
Tabla 4. Dimensión del tubo vertical principal según su capacidad	56
Tabla 5. Máxima capacidad en bajantes	57
Tabla 6. Ventajas y desventajas de la ubicación de un tanque de almacenamiento	58
Tabla 7. Procedimiento para la limpieza de un tanque de almacenamiento.....	58
Tabla 8. Consumo de agua de diversas actividades domésticas.....	59
Tabla 9. Dotaciones de agua de algunas especies para diferentes condiciones.....	60
Tabla 10. Consumo de agua observado para diferentes clases de bovinos y bajo diferentes condiciones ambientales	60
Tabla 11. Consumo de agua diario aproximado (litros por animal) en ganado de carne.	61
Tabla 12. Distintos métodos para diseño de un tanque de almacenamiento	61
Tabla 13. Clasificación de los contaminantes presentes en el agua	62
Tabla 14. Clasificación cualitativa de diferentes tecnologías de tratamiento.....	63
Tabla 15. Volumen de separación óptimo.	64
Tabla 16. Valores de evapotranspiración utilizados para el dimensionamiento del tanque 1.	66
Tabla 17. Duración de las etapas del cultivo de tabaco.....	67
Tabla 18. Coeficientes de cultivos (Kc) de cultivos anuales.....	67
Tabla 19. Demanda interna de aparatos sanitarios.	72
Tabla 20. Demanda interna de actividades domésticas.	72

Tabla 21. Demanda de crianza de animales.	72
Tabla 22. Áreas de cada zona captación del techo de la vivienda.	73
Tabla 23. Áreas y caudales de cada zona de captación.	73
Tabla 24. Dimensiones de las canaletas para cada zona de captación.	74
Tabla 25. Chequeo profundidad de canaletas.	74
Tabla 26. Chequeo velocidad y esfuerzo cortante de las canaletas horizontales.	75
Tabla 27. dimensiones de los bajantes.	75
Tabla 28. Chequeo velocidad y longitud terminal en los bajantes.	75
Tabla 29. Volumen requerido del desviador para cada bajante.	75
Tabla 30. Principales características de filtros.	76
Tabla 31. Dimensiones filtro lento de arena.	76
Tabla 32. Calculo NPSH disponible.	76
Tabla 33. Chequeos de presiones en cada tramo.	77

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Huella de la superficie de captación según la configuración del techo.....	53
Figura 2. Accesorios en PVC para instalaciones sanitarias-aguas lluvias y de ventilación	54
Figura 3. Zonas de captación de la vivienda	65
Figura 4. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia Estación El Cucharo (Pinchote).	65
Figura 5. Plano en planta de la cubierta de la vivienda (canaletas).	66
Figura 6. Valores de oferta y demanda de la primera semana para el dimensionamiento del tanque 1. ...	68
Figura 7. Resultados aplicación métodos YAS, YBS y THETA y eficiencias Tanque 1.	68
Figura 8. Valores de oferta y demanda de la primera semana para el dimensionamiento del tanque 2. ...	68
Figura 9. Resultados aplicación métodos YAS, YBS y THETA y eficiencias Tanque 2.	69
Figura 10. Valores de oferta y demanda de la primera semana para el dimensionamiento del tanque 3. .	69
Figura 11. Resultados aplicación métodos YAS, YBS y THETA y eficiencias Tanque 3.	70
Figura 12. Curva característica de la bomba	71

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Huella de la superficie de captación.....	53
Apéndice B. Coeficientes de escurritía.....	53
Apéndice C. Accesorios de unión para canaletas y bajantes.....	54
Apéndice D. Dimensiones canaleta horizontal.....	55
Apéndice E. Dimensiones bajantes.....	56
Apéndice F. Recomendaciones generales de ubicación del tanque de almacenamiento.....	57
Apéndice G. Ventajas y precauciones en la ubicación de un tanque de almacenamiento.....	58
Apéndice H. Operaciones de mantenimiento del tanque de almacenamiento.....	58
Apéndice I. Demanda Interior.....	59
Apéndice J. Demanda Exterior.....	60
Apéndice K. Métodos para el diseño del tanque de almacenamiento.....	61
Apéndice L. Clasificación de los contaminantes presentes en el agua.....	62
Apéndice M. Clasificación cualitativa de los tratamientos.....	63
Apéndice N. Volumen óptimo de separación para diferentes condiciones.....	64
Apéndice O. Configuración y distribución de áreas de captación del techo de la vivienda.....	65
Apéndice P. Curvas IDF – Estación El Cucharó (Pinchote).....	65
Apéndice Q. Dimensiones de canaletas instaladas en la vivienda.....	66
Apéndice R. Valores promedio multianual de las componentes del balance hídrico de la mesa de Los Santos.....	66
Apéndice S. Información para el análisis del cultivo de tabaco.....	67

Apéndice T. Resultados dimensionamiento de los tanques por métodos continuos de balance de masa.....	68
Apéndice U. Especificaciones bombas hidráulicas.....	71
Apéndice V. Planos Trazado red de distribución.....	78
Apéndice W. Tablas del dimensionamiento del caso de estudio.....	72

Resumen

Título: Propuesta de variables técnicas para la selección de tecnología de sistema de aprovechamiento de aguas lluvias a nivel residencial en el contexto rural de países en desarrollo*

Autores: Iván Andrés Salazar Angarita y Juan David Naranjo Barrios**

Palabras clave: Variables, Tecnologías, Aprovechamiento, Agua Lluvia, Rural.

Descripción:

La implementación de sistemas de recolección de aguas lluvias, especialmente en zonas rurales, es una gran alternativa que busca suplir necesidades asociadas con el acceso al agua, disponibilidad y de altos costos de este recurso. Diversos sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias (SAALL) han sido implementados en contextos rurales o urbanos, aunque no en todos los casos han funcionado adecuadamente, ya sea porque no fueron diseñados correctamente o porque no se realizó una selección apropiada de tecnología. En este trabajo, se realizó la caracterización de la oferta tecnológica disponible para los SAALL en el contexto rural, y se identificaron cinco componentes básicos; captación, conducción, almacenamiento, tratamiento y distribución. Se identificaron las variables técnicas más importantes para la selección de tecnologías en los SAALL en cada componente, en el contexto rural, en relación con sus características tecnológicas, calidad del agua, requerimiento energético, oferta hídrica y variables de diseño. Se observó que, la amplia diversidad de componentes y tecnologías ameritan un proceso de selección adecuado, a fin de garantizar que los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia sean sostenibles, además de contribuir a mejorar las condiciones de los habitantes de zonas rurales y a su vez garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña, Ingeniero Sanitario, Ms, PhD.

Abstract

Title: Proposal of technical variables for the selection of technology of rainwater use system at the residential level in the rural context of developing countries*

Authors: Iván Andrés Salazar Angarita & Juan David Naranjo Barrios**

Keywords: Variables, Technologies, Harvesting, Rainwater, Rural.

Description:

The implementation of rainwater collection systems, especially in rural areas, is a great alternative that seeks to meet needs associated with access to water, availability and high costs of this resource. Various rainwater harvesting systems (SAALL) have been implemented in rural or urban contexts, although not in all cases they have worked adequately, either because they were not designed correctly or because an appropriate selection of technology was not made. In this work, the characterization of the technological offer available to the SAALLs in the rural context was carried out, and five basic components were identified; collection, conduction, storage, treatment and distribution. The most important technical variables for the selection of technologies in the SAALLs were identified in each component, in the rural context, in relation to their technological characteristics, water quality, energy requirement, water supply and design variables. It was observed that the wide diversity of components and technologies warrant an adequate selection process, in order to guarantee that the rainwater harvesting systems are sustainable, in addition to contributing to improving the conditions of the inhabitants of rural areas and, in turn, guaranteeing the availability of water and its sustainable management.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña, Ingeniero Sanitario, Ms, PhD.

Introducción

El agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas y para la supervivencia de los seres humanos, además de ser un decisivo vínculo entre la sociedad y el medioambiente (ONU, 2019).

En el contexto global, 2,000 millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura y más de la mitad de la población (4,200 millones de personas) carecen de servicios de saneamiento gestionados de forma segura (OMS & Unicef, 2019). El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) trata de «garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos» (OMS, 2015). La consecución de este objetivo contribuirá al progreso de otros ODS, como los relacionados con la salud, la educación, el crecimiento económico y el medio ambiente (ONU, 2019).

La implementación de sistemas de recolección de aguas lluvias, especialmente en zonas rurales, es una gran alternativa que busca suplir necesidades de acceso al agua y sirven como solución al problema de disponibilidad y de alto costos de este recurso. Además, la posibilidad de almacenar las aguas recogidas en el tanque sirve como reserva para el suministro de agua en la vivienda durante temporadas de sequía.

Diversos sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias han sido implementados en contextos rurales o urbanos, sin embargo, en algunos casos, estos no funcionan adecuadamente o de manera óptima, ya sea porque no fueron diseñados correctamente o porque no se realizó una selección apropiada de tecnología.

Amplia diversidad de componentes y tecnologías ameritan que el proceso de selección de ambos aspectos sea adecuado a fin de garantizar que los sistemas que se vayan a implementar sean sostenibles, es decir, que tengan la capacidad de desempeñar sus funciones a un nivel al menos aceptable y brindar los beneficios esperados durante toda su vida proyectada, utilizando el mínimo posible de recursos (Restrepo, 2000).

En este trabajo, se identificarán las variables técnicas más importantes para la selección de tecnologías en SALL en el contexto rural.

Este trabajo, por lo tanto, puede contribuir a mejorar las condiciones de los habitantes de la vivienda, y a su vez garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible cumpliendo de esta manera uno de los objetivos de desarrollo sostenible planteados por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2015).

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Proponer variables técnicas para la selección de tecnología de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias a nivel residencial en el contexto rural de países en desarrollo.

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar la oferta tecnológica para los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias a nivel residencial rural.
- Caracterizar las variables técnicas para la selección de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias a nivel residencial rural.

2. Marco Teórico

Como técnica de aprovechamiento de agua lluvia se entiende la práctica (obra o procedimiento técnico) capaz de aumentar la disponibilidad de agua en la zona de implementación. Un sistema de aprovechamiento de agua lluvias permite captar, derivar, conducir, almacenar y/o distribuir las aguas lluvia (Palacio, 2010).

En la captación del agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, este debe tener la superficie y pendiente adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. Este modelo se le conoce como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos). Este modelo tiene un beneficio adicional y es que además de su ubicación minimiza la contaminación del agua (Salud, 2004).

Para el almacenamiento se recomienda que, si el agua es para uso potable, debe pasar por ciertos procesos químicos (Cloro, dióxido de cloro, ozono, luz ultravioleta, etc.), que permiten que no se desarrolle una actividad microbiológica que pueda afectar la potabilidad del agua (Orellana, 2005).

En Colombia, los estándares de calidad para el agua potable están reglamentados a través de la Resolución 2115 del 2007, la cual señala las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Los sistemas de recolección de aguas lluvias pueden ser muy variados, pero todos tienen en común los siguientes módulos: módulo de captación, módulo de conducción, sistema de filtración, módulo de almacenamiento y distribución (FAO, 2013).

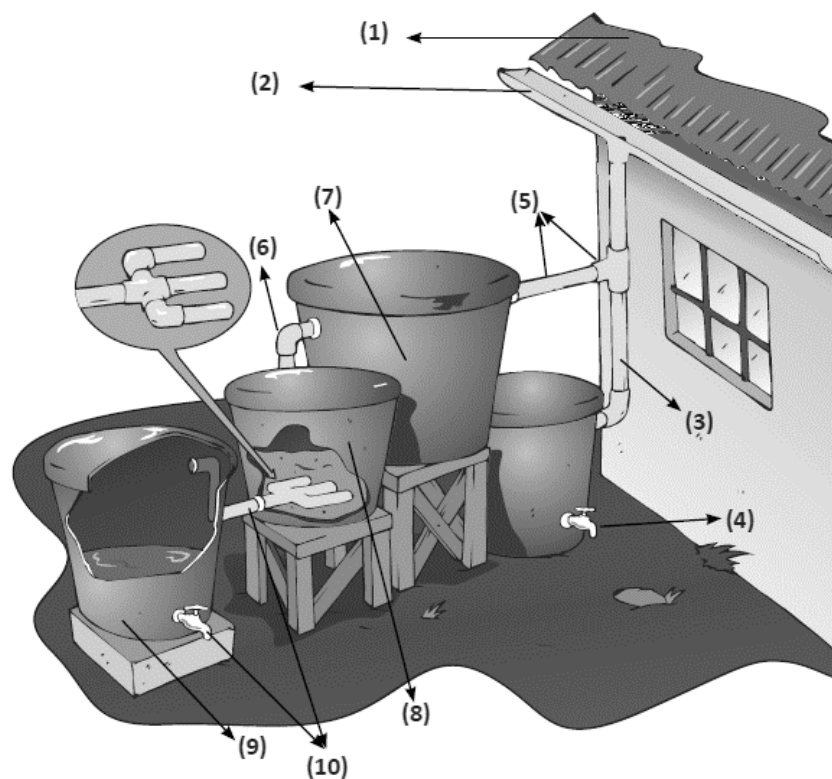


Figura 1. Elementos de un sistema de recolección de aguas lluvias.

Fuente: (OPS, 2010)

Donde; (1) Captación, (2) Recolección y distribución, (3) Bajante, (4) Tanque interceptor de primeras aguas, (5) Conexión al tanque, (6) Rebose, (7) Tanque de recolección, (8) Tanque filtro de arena, (9) Tanque de almacenamiento de agua tratada, (10) Otros accesorios.

3. Metodología

3.1. Fase I: Caracterizar la oferta tecnológica

3.1.1. Revisión de literatura

Se realizó una revisión sistemática de literatura en bases de datos, libros de texto y artículos científicos, para identificar y seleccionar la información relacionada con sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, buscando a su vez garantizar que la información presentada en esta investigación sea confiable y rigurosa.

Para el proceso de revisión se utilizó inicialmente el buscador SCOPUS, el cual compila estudios, artículos en revistas especializadas y demás documentos científicos con información relacionada con el tema de interés.

La primera búsqueda bibliográfica se realizó estableciendo las palabras claves “Rainwater harvesting” y “Rural areas” y se obtuvieron 181 resultados, los cuales posteriormente se filtraron manualmente y se seleccionaron los estudios que fueron realizados en Colombia y países en desarrollo tales como Sudáfrica, Kenia, Bolivia, México, entre otros. Se realizó la misma búsqueda y selección de artículos en los buscadores Springer, ScienceDirect y en la base de datos de la Universidad y se obtuvieron 8 artículos de utilidad. Finalmente, se procesaron alrededor de 35 artículos relacionados, de donde se obtuvo gran parte de la información utilizada en la realización de este estudio.

3.1.2. Clasificación y descripción de la oferta tecnológica

Se realizó una clasificación de las tecnologías disponibles para cada componente del sistema (con base en los módulos principales de un sistema convencional: captación, conducción, filtración, almacenamiento y distribución), a partir del material obtenido de la revisión de literatura previa.

Para ello, se hizo una descripción de cada uno de los componentes y demás elementos que conforman el sistema, de los requerimientos técnicos y de diseño y de las tecnologías disponibles, junto con algunas observaciones y recomendaciones, además de una breve revisión de proveedores de tecnologías en Colombia.

3.2. Fase II: Caracterizar las variables técnicas para la selección de los sistemas

3.2.1. Reconocimiento y revisión de encuestas

Se realizaron visitas de campo a la zona rural del municipio de Los Santos, de donde se tenía conocimiento de la implementación de SALL (sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias), a fin de realizar un primer reconocimiento y observación de estos sistemas y sus componentes, además de conocer experiencias de los mismos habitantes.

Adicionalmente, se hizo revisión de los datos recolectados de una encuesta que se realizó a los habitantes de la vereda Garbanzal (ubicada en zona rural de Los Santos) a fin de conocer la demanda y los usos que se le da al agua, además de obtener información sobre los SALL y demás fuentes de agua que son utilizadas en este contexto rural. Para el desarrollo de esta actividad metodológica se utilizó el tratamiento de los datos de la encuesta, realizado por una estudiante de maestría, y se hizo un análisis de los resultados de cada pregunta a fin de reconocer la oferta tecnológica que se presenta en el contexto rural, y posteriormente identificar posibles variables en

la selección de tecnología de los SALL. Por ejemplo, a partir de las preguntas sobre fuentes disponibles, cómo se tiene acceso a ellas y los usos que se le da al agua en esta zona, se obtuvo información acerca del tipo de captación, sistema de distribución o los métodos o insumos utilizados para el tratamiento de agua, como también de las labores de operación y mantenimiento que se realizan. Este ejercicio nos permitió adquirir una primera noción para determinar algunas de las variables con mayor importancia.

3.2.2. Dimensionamiento de un SALL para un caso de estudio

Se realizó un dimensionamiento de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, para un caso de estudio específico en el contexto rural, donde se asumió diferentes usos de agua (domésticos y productivos), y se propuso el trazado de la red de distribución y del sistema de bombeo, aplicando la información sobre caracterización de la oferta tecnológica realizada en la fase I. Se seleccionaron las ofertas tecnológicas más adecuadas en cada componente que conforma el sistema, teniendo en cuenta las condiciones del lugar, la configuración de la vivienda y disponibilidad de los recursos, buscando presentar un diseño óptimo.

3.2.3. Identificación de las variables técnicas para la selección de tecnologías

Se realizó un listado con las variables con mayor importancia identificadas y se hizo una descripción de su alcance, indicando también una forma de medir los indicadores asociados a cada variable, fundamentado en el conocimiento recogido en las anteriores actividades metodológicas realizadas previamente, a fin de que estos indicadores puedan servir de ayuda en el proceso de selección de tecnología de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias.

El listado y clasificación de las variables se realizó en 3 niveles, en donde se tuvo en cuenta los componentes principales de un SAALL como aspectos principales, seguido de las variables identificadas de cada componente, y en el 3er nivel los indicadores asociados a cada variable.

4. Resultados y discusión

4.1. Caracterización de la oferta tecnológica

4.1.1. Módulo de captación

Configuración del techo. Por motivos estéticos los techos se diseñan y construyen de diferentes maneras, pueden ser de un solo techo plano o de una disposición compleja de superficies inclinadas conocidas como “pendientes o aguas” (Haq, 2017). Dependiendo del enfoque para recolectar agua de lluvia, los tipos de techo se agrupan en las siguientes tres amplias categorías tales como:

- **Techos planos:** Techos cuya pendiente medida desde la horizontal es menor al 10%, presenta facilidad de construcción, bajos costos de implementación y bajos tiempo de instalación. Pueden presentar problemas de acumulación de agua debido a bajo valor de pendiente.
- **Techos inclinados:** Techos cuya pendiente medida desde la horizontal es mayor al 10%, estos techos con diferentes formas de pendientes en sus superficies se agrupan en esta categoría de la siguiente manera: techos a cuatro aguas, techos de cuatro aguas piramidales, techos inclinados o a dos aguas, techos de glorietas, techos abuhardillados, techos de

cobertizo, techos abuhardillados. Debido a que su pendiente es mayor esto facilita el drenaje del agua de sus superficies.

- **Techos plegados:** Los techos plegados generalmente se construyen combinando una serie de placas planas inclinadas unidos en varios ángulos. Los techos plegados crean un canalón entre dos placas. Existen varios tipos de techos de chapa plegada de la siguiente manera: techo de diente de sierra, techo en forma de M, techo de mariposa. Presentan la ventaja de poseer un valor de pendiente considerable la cual evita el problema de empozamiento del agua.

Área de captación. El área de captación es el lugar de donde se recolectará el agua. El área total del techo no es tan importante como la huella del techo, que determina el área en la que se recolecta el agua (Mechell et al., 2009) (ver Apéndice A). El área efectiva del techo, su área disponible, la forma y el material utilizado en la construcción del techo influyen en la eficiencia de la recolección y la calidad del agua (Appan, 1999). Todas las superficies de captación deben estar hechas de materiales no tóxicos (Appan, 1999).

Materiales de las superficies de captación.

- **Barro y concreto:** son superficies porosas, pueden presentar más o menos un 10% de pérdidas del agua lluvia (Texas Water Development Board, 2005).
- **Metal:** son superficies con una baja porosidad permitiendo una mayor capacidad de captación de agua lluvia (Texas Water Development Board, 2005).
- **Terraza de cal:** este material se presenta como una capa superficial en los techos, tiene poco o nulo efecto adverso en la calidad del agua lluvia (Haq, 2017).

- **Pizarra:** Permite crear una superficie de techo muy dura y lisa, que es ideal para una superficie de captación, porque maximiza la recolección y el uso potable de agua de lluvia, presenta la desventaja que el costo de la pizarra es alto, lo cual limita su uso como material para techos (Haq, 2017).
- **Plásticas:** Este material se encuentra en laminas las cuales permite recolectar el agua de lluvia de un techo, la calidad del agua de lluvia recolectada de este material, particularmente el pH y la dureza total, cae dentro de los límites aceptables de las recomendaciones de la OMS (Haq, 2017).
- **Fibra de vidrio:** Material popular por su vida útil, presenta el problema de filtraciones de agua lluvia provocando que este material sea una mala elección desde la perspectiva de calidad del agua lluvia (Haq, 2017).
- **Tejas de asbesto cemento:** estas superficies no son recomendadas para la captación de agua lluvia con fines de consumo humano debido a la fuga de toxinas. Presentan un porcentaje de perdidas aproximadamente del 10% debido al fluido ineficiente o por evaporación (Texas Water Development Board, 2005).

Coefficiente de escorrentía de la superficie de captación. El material y la textura de la superficie de captación influyen en la cantidad de agua recolectada. Una superficie rugosa y/o absorbente transporta menos agua de lluvia que una superficie lisa (Mechell et al., 2009). Los valores de coeficiente de escorrentía para diferentes materiales de la superficie de captación se muestran en el Apéndice B.

Oferta de agua lluvia recolectada. La cantidad de agua lluvia recolectada puede ser calculada usando la siguiente ecuación (WASH Institute, 2016):

$$Q = A * C * I \quad (1)$$

Donde; A es el área de captación (m²), C es el coeficiente de escorrentía (según el Apéndice B), I es la intensidad media anual (mm/hr) y Q es la cantidad de agua lluvia recolectada (lt/día).

4.1.2. Módulo de conducción

Canaletas y bajantes. Son elementos de conducción del agua pluvial acumulada de la superficie de recogida (área de captación) que posteriormente se dirigirá a través de bajantes hacia el sumidero para ingresar en el sistema de aprovechamiento de agua pluvial (Asociación Española de Empresas de Tratamiento y Control de Aguas, 2016). Es adecuado que las canaletas estén instaladas con una pendiente de inclinación dentro del rango del 0.5 – 4.0 % (ver Apéndice D.), para garantizar que el agua se escurra sin dificultad hacia los bajantes (Basán Nickisch et al., 2018).

Accesorios. Los sistemas de drenajes de tejados abarcan canales, tuberías y todos los accesorios y fijaciones necesarias para una canalización rápida y sobre todo eficaz de las aguas pluviales (Bröhl, 2005). Se pueden resaltar los codos a 45° y 90°, las conexiones en T y en Y. Usualmente, se encuentran en PVC y aluminio (ver Apéndice C).

Selección de material de la red de transporte. Los materiales más empleados para estas instalaciones es el PVC semicircular, acero galvanizado, vinilo y tubo de aluminio sin costura, para sistemas de agua potable (Texas Water Development Board, 2005). No pueden usarse

canaletas con soldaduras con plomo, pues la calidad ligeramente ácida de la lluvia podría disolver el plomo y contaminar el suministro de agua (Texas Water Development Board, 2005). La tubería seleccionada debe estar clasificada como adecuada para la exposición a la luz ultravioleta (UV) y el entierro (cuando corresponda) (Canada Mortgage and Housing Corporation, 2016).

Dimensionamiento de canaletas. El cálculo del tamaño de los canales o canaletas y tubos debe ser proporcional a la cantidad de lluvia del sector y del tamaño del área de captación (Texas Water Development Board, 2005).

Para el dimensionamiento de los canales recolectores de agua lluvia se emplea la ecuación de Manning (Pérez Carmona, 2010), de la siguiente manera:

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (2)$$

Donde; Q es el caudal de agua lluvia recogida (m³/s), A es el área de la sección transversal del canal o canaleta (m²), n es el coeficiente de rugosidad de Manning del material de la superficie del techo, R es el radio hidráulico de la sección transversal del canal o canaleta (m) y S es la pendiente de la línea de agua (m/m).

Algunos proveedores ofrecen catálogos con diferentes tipos de secciones con dimensiones comerciales, generalmente asociadas a su capacidad (ver Apéndices).

Dimensionamiento de los bajantes. El caudal que puede desaguar un bajante es función de la relación del área del anillo de agua pegado a las paredes y el área total de la sección (Pérez Carmona, 2010).

Teniendo el valor del caudal que fluye por el bajante, se hace uso de la tabla capacidad máxima en bajantes (ver Apéndice E), para determinar el diámetro requerido de cada bajante. El caudal a través de los conductos verticales no debe exceder los valores recomendado por la norma NTC 1500 (ICONTEC, 2017).

El valor de la velocidad y la longitud terminales (distancia de tubería en donde se produce esta velocidad), son clave para determinar si la velocidad del agua dentro de la tubería genera algún deterioro a los accesorios que las reciben (Pérez Carmona, 2010).

Para la velocidad terminal (V_t) y la longitud terminal (L_t) se presentan las siguientes expresiones:

$$V_t = 2.76 * \left(\frac{q}{d}\right)^{0.4} \quad (3)$$

$$L_t = 0.17 * v_t^2 \quad (4)$$

Donde, V_t es la velocidad terminal[m/s], L_t es la longitud terminal desde el punto de entrega [m], q es el caudal [L/s] y d es el diámetro del bajante [pulg].

La velocidad terminal se aconseja que sea menor a 4 m/s para evitar el desgaste del material de los bajantes de aguas lluvias, por lo cual es aconsejable realizar estos chequeos.

4.1.3. Tanque de almacenamiento

En un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, el componente más importante ha sido el tanque de almacenamiento y además es el módulo más costoso (Mechell et al., 2009).

El tamaño del tanque de almacenamiento o cisterna está dictado por varias variables: el suministro de agua de lluvia (precipitación local), la demanda, la duración proyectada de períodos

secos sin lluvia, la superficie de captación, la estética, las preferencias personales y el presupuesto (Texas Water Development Board, 2005).

Existen una gran variedad en la oferta disponible de los tanques de almacenamiento en el mercado, muchos proveedores ofrecen en sus catálogos tamaños que van desde los 250 L hasta 10.000 L, e incluso algunas empresas ofrecen la posibilidad de adquirir tanques con un volumen en específico que se adecuen a las necesidades del cliente. Algunos catálogos comerciales se muestran en los apéndices (ver Apéndices).

Ubicación del tanque. Los tanques deben ubicarse lo más cerca posible de los puntos de suministro y demanda para reducir la distancia de transporte del agua y el gasto energético de transporte. Los tanques de almacenamiento deben protegerse de la luz solar directa, si es posible (Texas Water Development Board, 2005). Existen otras recomendaciones asociadas a al criterio de selección de ubicación del tanque sugeridas en diferentes manuales (ver Apéndice F).

Material del tanque. Los materiales empleados para la construcción del tanque de almacenamiento comúnmente usados son: fibra de vidrio, polipropileno, madera, acero, concreto y ferrocemento, además es recomendable que el material sea impermeable, resistente a la erosión e inerte, que no genere algún tipo de contaminación al agua almacenada (Texas Water Development Board, 2005). Es preferible no utilizar materiales porosos, como ladrillo, piedra, etc., para las superficies internas que entrarán en contacto con el agua tratada (Mechell et al., 2009). Algunas ventajas y precauciones que se deben tener en cuenta al momento de escoger el material del tanque de almacenamiento se presentan en el Apéndice G.

Mantenimiento del tanque de almacenamiento. El mantenimiento en los tanques de almacenamiento es vital para evitar la contaminación del agua dentro de este mismo, las labores de mantenimiento son para evitar la acumulación de posibles sedimentos en la base del tanque, crecimiento de materia vegetal, algas, hongos y proliferación de contaminación bacteriana (OPS, 2010), se recomienda el lavado del tanque por cada periodo de seis meses de uso, siguiendo los siguientes pasos expuestos en el Apéndice H.

Estimación de la demanda de agua interior. La cantidad básica de agua requerida en una residencia o cualquier unidad de vivienda es predominantemente para beber, cocinar, higiene personal y saneamiento, lo que se denomina "demanda de agua doméstica" (Haq, 2017). Los valores estimados de demanda de agua para los diferentes aparatos hidráulicos se recogen en tablas de diferentes estudios (ver Apéndice I), sin embargo, estos valores pueden variar según el contexto y/o localización geográfica de la vivienda.

Estimación de la demanda de agua exterior. Hace referencia al uso de agua para usos productivos u otros usos exteriores, por ejemplo, en el manejo contra incendios, para uso recreativo, riego, crianza de animales u otros usos especiales (Haq, 2017).

También es importante estimar la cantidad de agua de lluvia que se almacenará para propósitos de crianza de animales (Haq, 2017) (ver Apéndice J).

Cálculo del volumen del tanque de almacenamiento. De acuerdo con Celis (Celis, 2018), para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento se puede optar por uno de los siguientes

cuatro tipos de métodos de diseño: Métodos simplificados, Métodos de simulación continua de balance de masa, Métodos de dimensionamiento económico, Métodos Estadísticos.

Se presentan los tipos de métodos de diseño anteriormente mencionados junto con algunos ejemplos metodológicos en el Apéndice K.

Este estudio tendrá un enfoque en el diseño del tanque de almacenamiento con base en métodos de balance de masa. Se aplicaron tres ecuaciones de balance hídrico, conocidas como YAS, YBS y una forma general para la variable THETA (Fewkes, 1999):

Método YAS: La ecuación YAS consiste inicialmente en el llenado del tanque de almacenamiento hasta producir un derrame, posterior a esto se presenta la demanda de agua por parte de los usuarios.

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ S - Y_t \end{array} \right. \quad (5)$$

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} \end{array} \right. \quad (6)$$

Método YBS: El método YBS asume que la demanda de agua se produce antes que el tanque de almacenamiento se llene completamente y se produzca el derrame.

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ S \end{array} \right\} \quad (7)$$

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} + Q_t \end{array} \right\} \quad (8)$$

Método Theta (θ): Este método es el intermedio de los dos métodos presentados anteriormente YAS y YBS con un coeficiente de valor 0.5.

$$V_t = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} (V_{t-1} + Qt - \theta * Yt) - (1 - \theta) * Yt \\ S - (1 - \theta) * Yt \end{array} \right\} \quad (9)$$

$$Y_t = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} Dt \\ V_{t-1} + \theta * Qt \end{array} \right\} \quad (10)$$

4.1.4. Tratamiento del agua lluvia

Se refiere a toda técnica con la capacidad de tratar el agua no potable a potable y que permiten consumir el agua con completa seguridad sin que el consumidor presente riesgos en su salud. El agua para consumo humano debe estar libre de sustancias químicas, impurezas y de microorganismos patógenos (Ministerio de la Protección Social, 2007). Algunos posibles contaminantes que pueden estar presentes en el agua y su clasificación se muestran en el Apéndice L.

Normatividad. En Colombia la normativa rigente, referente al control de calidad del agua, es la resolución 2115 del 2007, la cual señala las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano (Ministerio de la Protección Social, 2007).

En lo referente a los parámetros y control de calidad del agua destinada para usos agrícolas (irrigación de cultivos) y pecuarios, entendiéndose por esto su empleo para el consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales, se hace referencia al Decreto 1594 del 26 de junio de 1984 expedido por el Ministerio de Agricultura de Colombia (Ministerio de Ambiente, 1984).

Tren de tratamiento. El tren de tratamiento se puede asociar al nivel de tratamiento necesario para el sistema, y este a su vez se puede catalogar como primario, secundario y terciario haciendo referencia estos dos últimos a los procesos de filtración y desinfección y siendo el primario relacionado con un interceptor o desviador de primer flujo para el lavado del techo.

Teniendo en cuenta lo anterior, algunos estudios coinciden en que el mecanismo más acertado para la potabilización del agua de lluvia es el sistema de filtración lenta (Fandiño, L., Ospina, 2020) (Gómez & Silva, 2019). Sin embargo, también es recomendable disponer de un tratamiento primario (desviador de primer flujo) ya que al introducir este mecanismo se observa una mejora de la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos; (Texas Water Development Board, 2005).

Según un estudio sobre la selección de tecnologías de tratamiento del agua en sistemas de aguas lluvias (Gómez & Silva, 2019), se propone un tren de tratamiento conformado inicialmente por un desviador de primer flujo, seguido a esto se sugiere instalar un filtro lento de arena como tratamiento primario y cloración o un ozonizador como método de desinfección. Para llegar a esta conclusión, los autores propusieron un puntaje para las diferentes tecnologías a fin de poder determinar un tren óptimo según los resultados obtenidos (ver Apéndice M).

Desviador de primer flujo. Es el dispositivo dirigido a captar las primeras aguas lluvias correspondientes al lavado del área de captación, con el fin de evitar el almacenamiento de aguas con gran cantidad de impurezas (Texas Water Development Board, 2005).

No existe un acuerdo de cuál sería el volumen óptimo de primer flujo, sin embargo, muchos autores proponen diferentes valores según los niveles de contaminación, días secos, cercanía de árboles u otros factores (Ver Apéndice N).

Filtración. Es el proceso de tratamiento para remover partículas sólidas suspendidas mediante el paso del fluido a través de un medio poroso. El objetivo principal de la filtración para los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias es la remoción de las partículas que no fueron retenidas por el dispositivo desviador de primeras aguas (Adler et al., 2008).

- **Filtro lento de arena:** se caracteriza por ser un sistema sencillo, limpio y a la vez eficiente para el tratamiento de agua. Su simplicidad y bajo costo de operación y mantenimiento lo convierten en un sistema ideal para implementar en zonas rurales y pequeñas comunidades (Méndez, 2002).
- **Filtro de alta tasa:** en este tipo de filtros se incrementan considerablemente las cargas orgánicas e hidráulicas que se aplican al lecho, con lo cual su eficiencia en la remoción de materia orgánica es más baja comparada a los filtros de tasa baja, encontrándose esta entre el 65 y 85% (Méndez, 2002). Se llega a presentar poca nitrificación en el proceso (Méndez, 2002).
- **Filtración de membrana:** son filtros formados por aglomerados de fibras sintéticas de policarbonato o celulosa. La filtración de membrana elimina los sólidos restantes y reduce las concentraciones de turbidez, COD y plomo, sin embargo, se requiere un tratamiento de desinfección adicional (con una dosis muy pequeña) para garantizar la eliminación completa de coliformes (Gómez & Silva, 2019).

Desinfección. Es un procedimiento que está encaminado a disminuir el riesgo de presencia de microorganismos patógenos presentes y así asegurar la calidad del agua a consumir (Gómez & Silva, 2019). A continuación, se presentan los dos métodos de desinfección propuestos para su

implementación como parte del tren de tratamiento de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia. Los métodos más utilizados en el contexto rural son:

- **Cloración:** Su finalidad principal es la desinfección microbiana. No obstante, el cloro actúa también como oxidante y puede ayudar a eliminar algunas sustancias químicas; además, puede descomponer los plaguicidas fácilmente oxidables. La cloración puede realizarse mediante gas cloro licuado, solución de hipoclorito sódico o gránulos de hipoclorito cálcico, y mediante generadores de cloro in situ (OMS, 2006). Sin embargo, un inconveniente que presenta el cloro es su capacidad de reaccionar con materia orgánica natural presente en el lodo que se ha depositado en el fondo del tanque de almacenamiento, formando subproductos peligrosos, por lo que se recomienda clorar el agua después de que se haya retirado del tanque (De Kwaadsteniet et al., 2013). No se puede determinar una dosis específica, ya que cada caso es diferente (OMS, 2006).
- **Ozonización:** el ozono es un excelente desinfectante que ayuda en la oxidación de sustancias orgánicas y la reducción o eliminación de compuestos químicos. Su precio de costo es más elevado que el del cloro o sus derivados, pero su eficacia es superior (Rojas, 2016). Se requiere electricidad para producirlo e inyectarlo en el agua, lo cual se hace generalmente a intervalos, además, no permanece mucho tiempo dentro del agua, por lo cual se requiere de aplicación continua en caso de querer almacenar el agua durante un largo tiempo. El ozono puede ser producido por tres métodos: fotoquímico, electrólisis del ácido sulfúrico y corona de descarga. Las dosis necesarias varían en función del tipo de agua, pero suelen ser de 2 a 5 mg/l, sin embargo, para aguas sin tratar se necesitan dosis

más altas debido a la demanda de ozono de las sustancias orgánicas naturales (SANDEC, 2005) (Comisión Nacional del Agua, 2007).

- **Irradiación solar:** el equipo esterilizador ultravioleta está constituido por un tubo de acero inoxidable sanitario con interior totalmente pulido de espejo. Dentro del tubo de acero inoxidable se encuentra otro tubo de cuarzo y dentro de este último la lámpara de radiación ultravioleta. Cuando el agua circula dentro de estos tubos, los rayos ultravioleta UV alteran el ADN de los microorganismos (virus, bacterias, protozoos, etc.) presentes en el agua, eliminándolos, o inactivándolos genéticamente, para impedir su reproducción dejando el agua esterilizada y lista para el consumo (AGUASISTEC, 2006). *Este método no deja ningún efecto residual que pueda afectar a los seres humanos y tiene un periodo de contacto más corto que otros desinfectantes; sin embargo, la baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos microorganismos y algunas veces estos pueden reparar o invertir los efectos destructivos de la radiación UV (Causada, 1999).*

4.2. Caracterización de las variables técnicas para la selección de los sistemas

4.2.1. Dimensionamiento de un sistema para un caso de estudio específico

Para la aplicación de los conceptos mencionados en la fase I, se empleará como referencia una vivienda de la cual se tenían los planos arquitectónicos y la distribución de la red de conducción de aguas lluvias (Rivera Sánchez & Zaraza Peña, 2015), para el diseño completo de un sistema de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias.

Caso de estudio. Para la realización del diseño del sistema, la vivienda se asumió localizada en el sector rural del municipio Los Santos para tener en cuenta las condiciones y contexto de esa

zona. Se dispone de un área destinada para cultivo de 200 m² y para la crianza de animales se dispone de un galpón de 60 m².

Distribución de espacios de la vivienda. La vivienda consta de 3 (tres) niveles.

1. En el primer piso se encuentra la sala, cocina, 2 baños, un cuarto de servicio y un cuarto de máquinas donde estarán los tanques de almacenamiento y sistema de filtración.
2. El segundo nivel consta de 3 habitaciones, 1 sala de estar y 2 baños.
3. En el tercer nivel se encuentra una habitación y 1 baño.

Datos asumidos y datos de entrada. En primera instancia, se asume para el diseño que la vivienda es de tipo unifamiliar (conformada por 4 personas), lo que implica que solamente los habitantes de la vivienda serán los beneficiados del sistema de aprovechamiento de agua lluvia. Para el cálculo, se tuvo en cuenta también a la persona encargada de los trabajos domésticos en el número de habitantes, siendo de esta manera cinco (5) el número de habitantes total. Además, el agua recolectada funcionará como suministro para fines domésticos (potables y no potables) y productivos (riego y crianza de animales).

Los valores asumidos de consumo de agua en los diferentes aparatos hidráulicos y sanitarios de la vivienda, al igual que el consumo en actividades domésticas y productivas (riego y crianza de animales) se aprecian a detalle es el Apéndice W.

4.2.1.1. Módulo de captación. Para el diseño de este componente, es necesario determinar el área efectiva que está dispuesta para la captación y la cantidad de agua lluvia que se captará en la

superficie del techo de acuerdo con las condiciones de precipitación de la zona. El cálculo se realizó a partir de la Ecuación (1).

Área de captación. Se tendrán en consideración dos áreas de captación para el cálculo de las canaletas y bajantes; la primera es el techo de la vivienda y la segunda es el techo del lugar de crianza de las gallinas (galpones).

Con base en las dimensiones de la vivienda presentada en los planos, se procede a realizar el cálculo de las áreas de captación del sistema, teniendo en cuenta que el área efectiva es igual a la huella del techo de la vivienda. Debido a la configuración del techo, el área de captación de la vivienda estará dividida en sectores según el sentido de escurrimiento del agua (Ver Apéndice O), pensando además en el posterior dimensionamiento de las canaletas y bajantes. Los valores de área de cada zona del techo se presentan en los apéndices (ver Apéndice W).

Coefficiente de escorrentía. La superficie del área de captación de la vivienda está conformada en su totalidad por tejas de arcilla. Este material tiene asociado un coeficiente de escorrentía de 0.8, según los valores dispuestos en el Apéndice B. Además, el lugar de crianza de las gallinas cuenta con una superficie de captación conformada por láminas de zinc, cuyo coeficiente de escorrentía es de 0.9.

Intensidad de precipitación. Para obtener el valor de intensidad de lluvia, se utilizaron las curvas IDF de la estación El Cucharero (Pinchote) (ver Apéndice P), debido a que no fue posible contar con las curvas IDF del municipio luego de la búsqueda en la base datos del IDEAM, por lo que se optó por utilizar las curvas IDF derivadas de estaciones cercanas a la zona de estudio.

Por otro lado, se seleccionó un periodo de retorno de 3 años (valor recomendado para sistemas de agua lluvia (EAAB, 2009)). Además, se debe tener en cuenta la duración, equivalente al tiempo de concentración de la lluvia, es decir, el tiempo que tarda el agua desde que cae en el lugar más lejano del techo hasta la canaleta. Sin embargo, medir este valor es complicado, por lo que se sugiere estimarlo. Se asumió un tiempo de concentración de 2 minutos.

Se ingresó a la gráfica y se obtuvo un valor de intensidad de 144.5 mm/h. Sin embargo, este valor solo se tuvo en cuenta para el componente de conducción, es decir para el dimensionamiento de los bajantes y canaletas del sistema.

Cantidad de agua lluvia recolectada por la superficie de captación. Con los valores obtenidos de las áreas de cada zona de captación, el coeficiente de escorrentía asociado al material del techo y la intensidad de lluvia de diseño se calcula, de acuerdo con el método racional, la cantidad de agua lluvia recolectada por cada zona de captación, pues estos valores son necesarios para el dimensionamiento de las canaletas y los bajantes y en la realización de los chequeos de altura de flujo y esfuerzo cortante para las canaletas y de velocidad y longitud terminal para los bajantes.

La tabla con los valores de caudal recogido en cada zona de la superficie de captación se presenta en los apéndices (ver Apéndice W).

4.2.1.2. Módulo de conducción. Referente al dimensionamiento de canaletas y bajantes del sistema para la vivienda y para el lugar de crianza.

Dimensionamiento canaletas. A partir de los valores de caudal obtenidos mediante el método racional, se pueden determinar las dimensiones de las canaletas horizontales de acuerdo con las tablas de secciones comerciales sugerida por la NTC 1500 (ICONTEC, 2017) (ver apéndice D). Para este diseño se seleccionarán canaletas de sección semicircular.

La vivienda de estudio, como se muestra en los planos (ver Apéndice Q), ya cuenta con un sistema de canaletas semicirculares instalado de 5 pulgadas (127 mm) de diámetro en la vivienda, por lo cual, haciendo la comparativa respecto a las dimensiones obtenidas (ver Apéndice W) se concluyó que el sistema de canaletas instalado para la vivienda tiene la capacidad requerida para conducir el agua hasta los bajantes. Para la zona G, referente al techo de los galpones, no se contaba con canaletas, por lo que se calculó el diámetro requerido para su instalación (ver Apéndice W).

Sin embargo, es necesario verificar que la altura de la lámina de agua no supere el 50% de la profundidad total de la canaleta o el valor máximo permitido del 75% en casos extremos (ver Apéndice W).

Además, se recomienda revisar que la velocidad del flujo en la canaleta este en el rango de 0,6 a 5 m/s y también el esfuerzo cortante debe ser mayor a 0,15 kg/m², esto para garantizar que el flujo sea autolimpiante (ver Apéndice W).

Dimensionamiento bajantes. El caudal a través de los conductos verticales no debe exceder los valores recomendado por la norma NTC 1500 (ICONTEC, 2017). Para la selección del área requerida de los bajantes, se tuvo en cuenta los valores propuestos en la tabla de secciones comerciales que están en función del caudal que le llega a cada bajante (ver Apéndice E).

Al igual que con las canaletas, la vivienda de estudio ya cuenta con un sistema de bajantes, ambos de 3 pulgadas de diámetro que conducen el agua hasta la zona de almacenamiento, por lo cual es necesario realizar la comparativa respecto a las dimensiones obtenidas (ver Apéndice W). Se concluyó que las dimensiones de los bajantes instalados en la vivienda tienen la capacidad requerida para conducir el agua hasta el módulo de almacenamiento. Para el bajante 3 que corresponde al de los galpones se calcula el diámetro requerido para su instalación.

De los resultados obtenidos, se observa que la velocidad terminal no supera el valor recomendado de 4 m/s, lo cual es adecuado para el Sistema (ver Apéndice W).

4.2.1.3. Módulo de tratamiento. Referente a los componentes del tren de tratamiento conformado por el desviador de primeras aguas, filtro de arena y cloración.

Desviador de primeras aguas. El volumen de agua requerido para realizar el lavado del techo corresponde a la razón de 1 litro de agua lluvia por cada metro cuadrado de área de captación. De acuerdo con la configuración de la red de conducción de aguas lluvias de la vivienda de diseño, se debe instalar un desviador de aguas en cada bajante (ver Apéndice W).

Sistema de filtración. Para este diseño, se seleccionó un filtro lento de arena. El primer paso del dimensionamiento para este tipo de filtro es seleccionar la tasa de filtración según los valores de la tabla propuesta por Romero (Romero, 2003). Se seleccionó una tasa de filtración de 5 m/día.

El área de la sección transversal del filtro se asumió circular ya que se utilizará una caneca plástica comercial de 39 cm de radio y 1,2 m de altura. El caudal que se toma para este cálculo es igual al total obtenido por el método racional para la vivienda (ver Apéndice W).

Se escogió como altura de la capa de arena 0,6 m, y 0,3 para la capa de grava de acuerdo con los valores sugeridos por Romero (ver Apéndice W). Además, se está dejando un borde libre de 0.3 m, se recomienda mantener siempre una altura de agua de mínimo 5 cm por encima de la superficie de arena (OPS, 2010). Para optimización del sistema se colocarán 2 filtros de arena.

Desinfección. La dosis recomendada para la cloración del agua es de 0,4 - 0,5 mg/L de cloro libre durante al menos 15 min (Comisión Nacional del agua, 2007). Un autor colombiano recomienda agregar 5 gotas de hipoclorito de sodio al 5.25% a cada galón de agua o 1 gota por litro de agua a desinfectar y dejar reposar por 30 min (OPS, 2010).

El proceso de desinfección del agua almacenada se realizará únicamente en los tanques 2 y 3, debido a que estos tanques suministran agua para el consumo humano y animal. El tanque 1 no requiere este proceso.

4.2.1.4. Tanque de almacenamiento. El dimensionamiento del tanque de almacenamiento se realizó por medio de los métodos YAS, YBS y THETA. Para este desarrollo se empleó una hoja de cálculo en el software Excel, cuyos datos de entrada fueron: precipitación diaria durante un periodo de 10 años (31 oct 2010 – 31 oct 2020), demanda total diaria de agua (usos domésticos (potables y no potables) y productivos (riego y crianza de animales)), volumen supuesto del tanque de almacenamiento y volumen supuesto al inicio de la simulación (asumido como el 50% del volumen del tanque supuesto).

En la demanda diaria de agua, se tuvo en cuenta las actividades que solo se realizan en días específicos, lo que implica que el valor de la demanda puede variar en algunos días de la semana. De igual manera, el agua suministrada para el riego de cultivos puede no ser requerida en ciertos

días, ya que esta necesidad puede ser suplida con la precipitación diaria. Por ello, es necesario conocer donde se presentarán los días secos o con poca precipitación y compararlos con los tiempos de riego en cada temporada y demás requerimientos de agua del cultivo.

Para facilidad en el análisis y evitar sobredimensionar los tanques innecesariamente, es decir, sin obtener mayores beneficios por ello, se sugiere diseñar para un volumen asociado a una eficiencia aproximada del 65% (Celis, 2018).

Tanque de almacenamiento 1: Vivienda (usos no potables) y Riego. Para el cálculo total del volumen del tanque número 1 se tuvo en cuenta el área total de la superficie de captación de la vivienda y la demanda de agua interna (usos potables y no potables) junto con la demanda de agua para riego de cultivos. Este tanque estará ubicado en la sala de máquinas y tendrá dos conexiones de salida, una dispuesta para el suministro de agua para riego y la otra conexión estará conectada con el sistema de tratamiento que conduce el agua al tanque número 2.

Se asumió para el diseño un cultivo de tabaco con un área de plantación de 500 m². El valor de evapotranspiración utilizado (E_{tr}) en todo el año fue tomado de un estudio realizado en para el municipio de Los Santos (Becerra & Parra, 2016) (ver apéndice R). La información sobre la duración de las etapas de crecimiento, los valores de los coeficientes del cultivo (K_c) para cada etapa y la fecha de inicio de la plantación fueron obtenidos de estudios de la FAO (FAO, 2006) (ver apéndice S).

Luego de ingresar los datos de entrada a la programación, se obtuvieron los valores de oferta y demanda de agua para esta condición de diseño (Ver apéndice T - figura 1). Posterior a esto, se aplicaron los tres métodos propuestos de balance de masa (YAS, YBS y THETA), utilizando un valor de volumen comercial de 5000 litros cuya eficiencia asociada corresponde al 53.1% en

promedio de los tres métodos (Ver apéndice T - figura 2). Se decidió utilizar un volumen con una eficiencia asociada menor al 65% debido al espacio disponible para la colocación de este tanque.

Tanque de almacenamiento 2: Vivienda (usos potables). Para el cálculo total del volumen del tanque número 2 se tuvo en cuenta la demanda de agua interna de la vivienda (usos potables). Este tanque estará ubicado en la sala de máquinas, recibe el agua tratada proveniente del tanque 1 y tendrá una conexión de salida conectada a una bomba, la cual va a suministrar el agua hacia cada aparato hidráulico de la vivienda.

Luego de ingresar los datos de entrada a la programación, se obtuvieron los valores de oferta y demanda de agua para esta condición de diseño (Ver apéndice T - figura 3). Posterior a esto, se aplicaron los tres métodos propuestos de balance de masa (YAS, YBS y THETA), utilizando un valor de volumen comercial de 2500 litros cuya eficiencia asociada corresponde al 65.92% en promedio de los tres métodos (Ver apéndice T - figura 4).

Tanque de almacenamiento 3: Consumo animal. Para el cálculo total del volumen del tanque número 3 se tuvo en cuenta el área total de la superficie de captación de los galpones y la demanda de agua para la crianza de animales (avícola, bovinos, caninos). Este tanque estará ubicado en la parte externa de los galpones sobre el suelo y tendrá dos conexiones de salida con una válvula cada una, una dispuesta para el suministro de agua para los galpones y la otra para el suministro de los demás animales.

Luego de ingresar los datos de entrada a la programación, se obtuvieron los valores de oferta y demanda de agua para esta condición de diseño (Ver apéndice T - figura 5). Posterior a esto, se aplicaron los tres métodos propuestos de balance de masa (YAS, YBS y THETA), utilizando un

valor de volumen comercial de 4000 litros cuya eficiencia asociada corresponde al 65.15% en promedio de los tres métodos (Ver apéndice T - figura 6).

4.2.1.5. Módulo de distribución. En primer lugar, se realizó la curva del sistema para observar cómo varía la energía requerida para transportar el agua desde el tanque 2 hacia el tanque aéreo en función del caudal (ver Apéndice W).

Se seleccionó para el diseño la bomba PEDROLLO monofásica modelo CPm 160C, con una potencia máxima de 1,5 HP y un rango de altura de cabeza de bomba de 20 – 32 m (ver Apéndice U). Luego se buscó en la gráfica el caudal de 90 L/min (valor escogido según las características de la bomba seleccionada: 0 – 200 L/min) y se obtuvo un valor de hB (cabeza de la bomba) de 24 m.

El valor de potencia necesario para transportar el fluido corresponde al valor de 0.9 HP, teniendo en cuenta un valor de eficiencia estimada de la motobomba del 50%. El valor del NPSH (altura disponible de succión positiva), se estimó teniendo en cuenta los siguientes factores tales como: presión de vapor del agua, presión atmosférica, carga dinámica, pérdidas de carga antes de la entrada a la bomba y altura a la que está ubicada la bomba (ver Apéndice W).

Posteriormente, se realizó el trazado de la red hidráulica (ver Apéndice V), y se realizó el chequeo para determinar si el agua suministrada llega a cada aparato con la presión requerida. Para la realización del chequeo se determinaron tramos de análisis, desde el tanque hasta la salida de cada uno de los aparatos. Luego, se creó una tabla de cálculo donde se compila la longitud horizontal y vertical, el número de accesorios, las pérdidas por fricción, pérdidas por accesorio y presión final de cada tramo.

Las hojas de cálculo empleadas para el dimensionamiento de la red de distribución se observan a detalle en los apéndices (ver Apéndice W). El trazado de la red de distribución con el detalle de los diámetros utilizados en cada tramo se encuentra en los planos (ver Apéndice V).

4.2.2. Variables técnicas para la selección de tecnologías de los SAALL a nivel residencial rural.

Se realizó un listado con las variables con mayor importancia identificadas en las actividades metodológicas previamente realizadas (revisión de los datos recolectados en las encuestas, reconocimiento inicial en las visitas de campo y la realización del dimensionamiento del sistema de aguas lluvias para el caso de estudio), junto con la descripción del alcance de cada una.

Se presentaron 4 aspectos que hacen referencia a los componentes de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias (captación y conducción, almacenamiento, tratamiento y distribución).

Se identificaron 16 indicadores relevantes para el proceso de selección de tecnologías de los SAALL. La Tabla 1 explica el alcance de cada indicador tomado en cuenta, y su forma de medición. Es importante recalcar que los indicadores presentados son aplicables para la selección de tecnología de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias a nivel residencial, implementados en el contexto rural.

El ejercicio del dimensionamiento permitió identificar indicadores de gran importancia como el ‘déficit de agua’ asociado a las variables de diseño en el dimensionamiento del tanque de almacenamiento, que indica el cumplimiento del propósito de la implementación de los SAALL de satisfacer las necesidades de disponibilidad del agua, a partir del análisis de la oferta y demanda de agua. Además, el ‘requerimiento energético’ asociado al aspecto de distribución, puede convertirse en un aspecto crítico, pues la ubicación del tanque y/o la posible necesidad de

implementar un sistema de bombeo implica una selección apropiada del método de distribución y un diseño adecuado de la red interna de distribución y para el suministro de agua para usos productivos (riego de cultivos y crianza de animales).

Tabla 1

Variables técnicas para la selección de tecnología de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias a nivel residencial rural.

Aspecto	Variable	Indicador	Medición	Alcance
Captación y conducción	Superficie de captación	Configuración del techo	Plano, inclinado o plegado	Relacionado con el número de pendientes que se presentan en el techo, con disponibilidad para la instalación de canaletas.
		Disponibilidad de área	Disponibilidad de área	Área de captación requerida por la tecnología vs área disponible para implementarla (disponible, no disponible).
	Oferta hídrica	Materiales utilizados	Coefficiente de escorrentía	Relación entre el agua lluvia que cae en una zona y el agua que corre. Asociado al grado de impermeabilidad y erosionabilidad del material.
		Precipitación	Milímetros de precipitación	Cantidad de agua lluvia que se precipita en la zona de instalación.
	Características tecnológicas	Operación y mantenimiento	Cantidad de veces por año	En relación con la frecuencia de realización de labores de limpieza, arreglos preventivos, etc., requeridos para el óptimo funcionamiento del sistema. La complejidad de estas labores varía entre baja (limpieza manual), media (lavado y desinfección) o alta (aplicación de impermeabilizante a la cubierta).
		Durabilidad / Vida útil	Años de vida útil	Asociado al tiempo esperado de servicio continuo de la tecnología sin ninguna avería o afectación en el sistema de bajantes y canaletas.
		Facilidad de instalación	Grado de complejidad	Asociada a la complejidad tecnológica, relacionado con los requerimientos de insumos, materiales y mano de obra calificada para la instalación de canaletas y bajantes. Para la instalación del sistema de conducción son requeridas dos personas.
Almacenamiento	Características tecnológicas	Operación y mantenimiento	Cantidad de veces por año	Labores de limpieza, arreglos preventivos, etc., requeridas para el óptimo funcionamiento del sistema. La complejidad de estas labores varía entre baja (vaciado y limpieza manual), media (cepillado y desinfección).
		Materiales utilizados	Grado de permeabilidad y erosionabilidad	Selección del material del tanque de almacenamiento asociado a su grado de permeabilidad y su resistencia a la erosión.
	Facilidad de instalación	Grado de complejidad	Asociada a la complejidad tecnológica, relacionado con los requerimientos de insumos, materiales y mano de obra calificada para la instalación del tanque de almacenamiento. Para la instalación del tanque de almacenamiento son requeridas 2 personas (1 operario de máquina y un maestro).	

Almacenamiento (continuación)	Variables de diseño	Durabilidad / Vida útil	Años de vida útil	Asociado al tiempo esperado de servicio continuo de la tecnología sin ninguna avería o afectación en el tanque de almacenamiento.
		Demanda de agua	Litros por habitante	Cantidad de agua (potable o no potable) requerida para el desarrollo de las actividades doméstica y/o productivas
		Método de diseño del tanque	Grado de robustez	Asociado a la complejidad, rapidez de aplicación, versatilidad ante los cambios de un método de diseño como criterios para su selección para el dimensionamiento.
		Eficiencia	Grado de optimización del diseño	Asociada al volumen del tanque, y al grado de optimización del diseño (óptimo, sobredimensionado, subdimensionado).
Tratamiento	Calidad del agua	Usos del agua	Nivel de tratamiento requerido	Asociado al nivel de tratamiento requerido para alcanzar los objetivos de calidad del agua. El nivel de complejidad del tren de tratamiento varía entre primario (interceptor de primeras aguas), secundario (incluye proceso de filtración) y terciario (incluye procesos de desinfección de agua).
		Tipo de contaminante	Tipo de contaminante	Asociado al tipo de contaminante que afecta al agua recogida (físico, químico o biológico).
	Características tecnológicas	Operación y mantenimiento	Grado de complejidad	Asociada a la complejidad tecnológica y en la realización de actividades para el tratamiento del agua (fácil, medio, difícil). Se requiere una persona para la instalación del interceptor, dos personas para la instalación del filtro y una persona para la instalación del mecanismo de desinfección.
		Durabilidad / Vida útil	Años de vida útil	Asociado al tiempo esperado de servicio continuo de la tecnología sin ninguna avería o afectación al tren de tratamiento o cualquier otro elemento relacionado.
		Materiales utilizados	Disponibilidad de insumos	Selección y disponibilidad de insumos y requerimientos necesarios en la realización de actividades de tratamiento del agua.
Distribución	Características tecnológicas	Durabilidad / Vida útil	Años de vida útil	Asociado al tiempo esperado de servicio continuo de la tecnología sin ninguna avería o afectación en el sistema de distribución (tuberías, accesorios y/o bombas).
		Facilidad de instalación	Grado de complejidad	Asociada a la complejidad tecnológica y de instalación de la red y sistema de distribución (fácil, medio, difícil). Se requiere una persona para la instalación de la bomba, y dos personas para la instalación de la red de distribución.
	Requerimiento energético	Sistema de bombeo	Presión requerida de aparatos hidráulicos	Asociado al bombeo en la operación de tanques superficiales o subterráneos, que garantizan el suministro de agua con presiones adecuadas hacia cada punto de la vivienda.
		Ubicación del tanque	Método de distribución	Asociado a la ubicación del tanque de almacenamiento (subterráneo, superficial o aéreo) y el método de distribución que es necesario implementar (gravedad, bombeo).

5. Conclusiones

La caracterización de la oferta tecnológica para los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, permitió identificar alternativas interesantes para los diferentes componentes del sistema, como la conformación de diferentes trenes de tratamiento que estén acorde al objetivo de calidad asociado a los usos del agua que se presentan en la vivienda. Además, la revisión de literatura permitió observar que la disponibilidad de las tecnologías en el mercado no es un problema de gran magnitud, pues en la actualidad se encuentra gran variedad de proveedores que ofrecen catálogos comerciales, lo cual facilita el acceso a casi cualquier componente, y a su vez se ajustan a los requerimientos del sistema y/o las solicitudes del cliente.

En la identificación de las variables, ciertos indicadores pueden tener una importancia mayor o menor dependiendo del contexto en el cual se vaya a implementar el SAALL, sin embargo, algunos de ellos son ajenos a un caso de estudio particular y pueden aplicarse de manera general. Por ejemplo, la realización de actividades de operación y mantenimiento o la selección del material de cada componente influyen en gran manera en la durabilidad y el periodo de vida útil de los SAALL que se vayan a implementar, a fin de garantizar que estos sean sostenibles, es decir, que tengan la capacidad de desempeñar sus funciones a un nivel al menos aceptable y brindar los beneficios esperados durante toda su vida proyectada, utilizando el mínimo posible de recursos.

Como conclusión general, se pudo evidenciar que, la amplia diversidad de componentes y tecnologías disponibles sugiere que es necesario realizar un proceso de selección adecuado en ambos aspectos, pues la finalidad de la implementación de un SAALL es que funcione de manera correcta. Sin embargo, este trabajo es un primer acercamiento a la identificación de indicadores claves, realizado por los autores. Es recomendable, que se incluya la opinión de expertos en

SAALL y afines, con la finalidad de que se pueda determinar un orden de prioridad de los indicadores identificados.

Referencias bibliográficas

- Adler, I., Carmona, G., & Bojalil, J. (2008). Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos (p. 47).
- AGUASISTEC. (2006). Esterilizador Ultravioleta UV. <http://www.aguasistec.com/filtro-de-carbon-activado.php>
- Appan, A. (1999). Economic and water quality aspects of rainwater catchment system. In: Proceedings of International Symposium on Efficient Water Use in Urban Areas. 79.
- Asociación Española de Empresas de Tratamiento y Control de Aguas. (2016). Guía Técnica de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios, Asociación Española de Empresas de Tratamiento y Control de Aguas. 8–16, 19.
- Basán Nickisch, M., Sánchez, L., Tosolini, R., Tejerina Díaz, F., & Jordan, P. (2018). Sistemas de Captación de Aguas Lluvia para Consumo Humano, Sinónimo de Agua Segura. Director, 15(40).
- Becerra, N., & Parra, C. (2016). Balance Hídrico Para Estimar Recarga Potencial En La Mesa De Los Santos y Dirección de Flujo de Agua Subterránea. 50.
- Bröhl, G. (2005). Productos y accesorios para aguas pluviales en acero inoxidable. Euro Inox, 8, 24.
- Canada Mortgage and Housing Corporation. (2016). Guidelines for Residential Rainwater Harvesting Systems Handbook.
- Causada, E. (1999). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Desinfección con luz ultravioleta. Environmental Protection Agency.

- Celis, D. A. (2018). Evaluación de los métodos para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento de un sistema de recolección y aprovechamiento de agua lluvia en el área metropolitana de Bucaramanga (Santander). Tesis de pregrado para obtener el título de Ingeniero civil. Tesis de Pregrado.
- Comisión Nacional del agua. (2007). Manual De Agua Potable, Alcantarillado Y Saneamiento Desinfección.
- De Kwaadsteniet, M., Dobrowsky, P. H., Van Deventer, A., Khan, W., & Cloete, T. E. (2013). Domestic rainwater harvesting: Microbial and chemical water quality and point-of-use treatment systems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 224(7). <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1629-7>
- EAAB. (2009). Norma Técnica de Servicio (NS 085).
- Fandiño, L., Ospina, K. (2020). Sistema De Tratamiento De Agua De Lluvia Para Consumo Humano En Una Institución Educativa Rural De Girardot, Cundinamarca.
- FAO. (2006). Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. 56, 253.
- FAO. (2013). Captación Y Almacenamiento De Agua De Lluvia. In Santiago de Chile. www.rlc.fao.org
- Fewkes, A. (1999). Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach. *Urban Water*, 1(4), 323–333.
- Gómez, M. A., & Silva, M. C. (2019). Propuesta de tecnologías para el tratamiento de aguas lluvias, como opción para su aprovechamiento en viviendas unifamiliares. caso de estudio: Bucaramanga (Colombia). In UIS.

Haq, S. A. (2017). *Harvesting Rainwater From Buildings*.

ICONTEC. (2017). *Norma Técnica Colombiana 1500*.

Mechell, J., Kniffen, B., Lesikar, B., Kingman, D., Jaber, F., Alexander, R., & Clayton, B. (2009). *Rainwater Harvesting: System Planning*.

Méndez, S. (2002). *Desinfección del agua*.

Ministerio de Ambiente. (1984). Decreto 1594 del 26 de junio de 1984. Ministerio de Ambiente.

Ministerio de la Protección Social. (2007). Resolución 2115.

OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*, Vol. 1, tercera ed., Ediciones de la OMS, Suiza. 173–176.

OMS. (2015). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*.

OMS, & Unicef. (2019). *1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso al agua potable, según UNICEF y la OMS*.

ONU. (2019). *El Agua como recurso importante*. <https://www.un.org/es/global-issues/water>

OPS. (2010). *Sistema de captación y filtrado de aguas lluvias*. Primera edición, capítulo I y II. 18–36.

Orellana, J. (2005). *Conducción de las aguas*. 64.

Palacio, N. (2010). *Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia*.

Pérez Carmona, R. (2010). *Instalaciones Hidrosanitarias y de Gas para Instalaciones* 6ta ed.

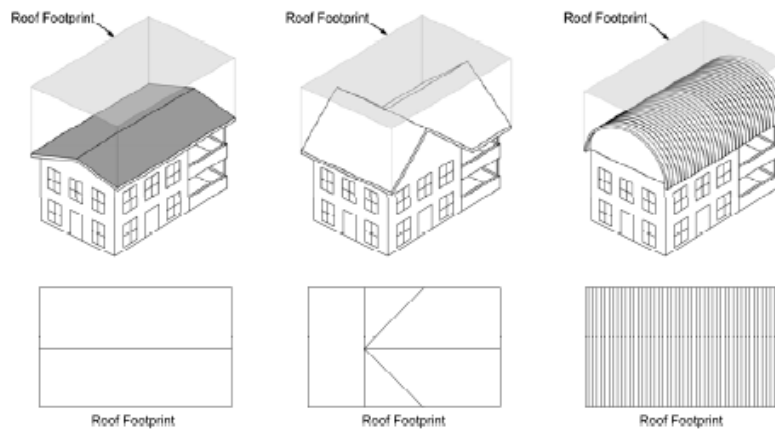
- Restrepo, I. (2000). Saneamiento para pequeñas localidades”. Conferencia Internacional Agua y Saneamiento en Poblaciones Pequeñas y Medianas en el Marco de la Visión Mundial.
- Rivera Sánchez, M. L., & Zaraza Peña, J. M. (2015). Factibilidad técnica y económica de un sistema hidrosanitario para la reutilización de aguas grises y pluviales, caso de estudio en vivienda de alto consumo de A. M. de Bucaramanga, Colombia. Trabajo de Grado, 1–157.
- Rojas, M. (2016). Diseño E Implementacion De Un Sistema De Captación Y Aprovechamiento De Aguas Lluvias (Scall) Como Alternativa De Ahorro Y Uso Sostenible De Agua Potable A Nivel Residencial En La Ciudad Bogota.
- Romero, J. (2003). Potabilización Del Agua. Escuela Colombiana de Ingeniería, 3, 306.
- Salud, O. (2004). Guía de diseño para captación del agua de lluvia. 18.
- SANDEC. (2005). Desinfección Solar del Agua. Guía de aplicación”. Programa de Agua y Saneamiento, Región América Latina y el Caribe. pp 19–23.
- Texas Water Development Board. (2005). The Texas Manual on Rainwater Harvesting.
- WASH Institute. (2016). A Practical Guide on Roof top Rain Water Harvesting.

Apéndices

Apéndice A. Huella de la superficie de captación.

Figura 1

Huella de la superficie de captación según la configuración del techo



Nota. Representación gráfica de la huella del techo para distintas configuraciones del techo. Tomado de Rainwater Harvesting System Planning, 2009.

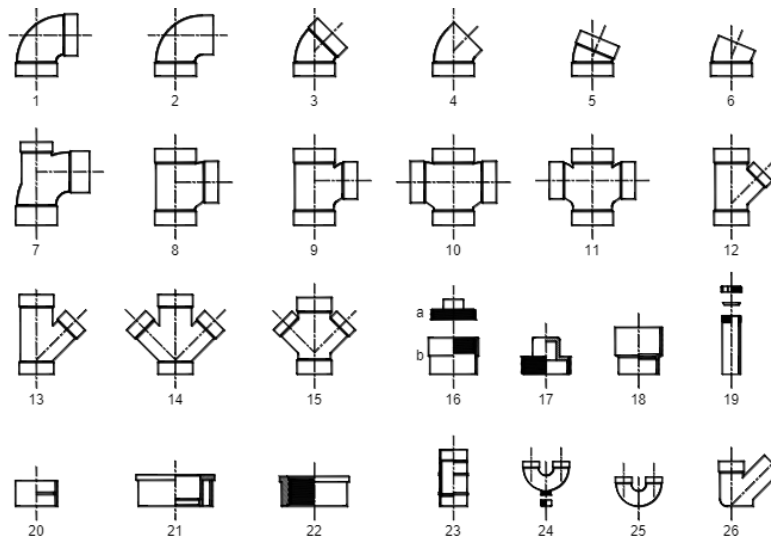
Apéndice B. Coeficientes de escorrentía.

Tabla 1

Coeficientes de escorrentía para diferentes materiales

Type of Catchment	Runoff Coefficients (C)
Roof Catchments	
<i>Tiles</i>	0.8 - 0.9
<i>Corrugated metal sheets</i>	0.7 - 0.9
<i>Organic (Thatched roof)</i>	0.2
Ground surface coverings	
<i>Concrete</i>	0.6 - 0.8
<i>Brick pavement</i>	0.5 - 0.6
Untreated ground catchments	
<i>Soil on slopes less than 10 percent</i>	0.0 - 0.3
<i>Rocky natural catchments</i>	0.2 - 0.5

Nota. Tomado de Rainwater Harvesting: The collection of rainfall and runoff in rural áreas, 1989.

Apéndice C. Accesorios de unión para canaletas y bajantes.**Figura 2***Accesorios en PVC para instalaciones sanitarias-aguas lluvias y de ventilación**Nota.* Tomado de NTC 1341, 2006.**Tabla 2***Accesorios en PVC para instalaciones sanitarias-aguas lluvias y de ventilación*

Número	Accesorio	Número	Accesorio
1	Codo 90° campana x campana	14	Y sanitaria-aguas lluvias doble
2	Codo 90° campana x espigo	15	Y sanitaria-aguas lluvias doble reducida
3	Codo 45° campana x campana	16	Adaptador de limpieza
4	Codo 45° campana x espigo	17	Tapón macho roscado
5	Codo 22,5° campana x campana	18	Adaptador HF a PVC
6	Codo 22,5° campana x espigo	19	Adaptador de sifón
7	Codo ventilado	20	Unión
8	T sanitaria-aguas lluvia	21	Buje soldado
9	T sanitaria-aguas lluvia reducida	22	Buje roscado
10	T sanitaria-aguas lluvia doble	23	Junta de expansión
11	T sanitaria-aguas lluvia doble reducida	24	Sifón 180° con tapón, campana x campana
12	Y sanitaria-aguas lluvias reducida	25	Sifón 180° campana x campana
13	Y sanitaria-aguas lluvias	26	Sifón 135° campana x espigo

Nota. Tomado de NTC 1341, 2006.

Apéndice D. Dimensiones canaleta horizontal.**Tabla 3***Dimensiones canaleta horizontal según su capacidad*

Dimensiones de la Canaleta [mm]	Dimensiones de la Canaleta [pulg]	Pendiente [mm/m]	Capacidad [L/m]	Capacidad [gpm]
38,1 x 63,5	1 1/2 X 2 1/2	20,83	98,41	26,0
38,1 x 63,6	2 1/2 X 2 1/2	41,65	151,4	40,0
101,6	4	10,41	147,61	39,0
57,15 x 76,2	2 1/4 x 3	20,83	208,17	55,0
57,15 x 76,3	3 1/4 x 3	41,65	329,3	87,0
127	5	10,41	280,1	74,0
101,6 x 63,5	4 x 2 1/2	20,83	401,21	106,0
76,2 x 88,9	3 x 3 1/2	41,65	594,25	157,0
152,4	6	10,41	416,35	110,0
76,2 x 127	3 x 5	20,83	594,25	157,0
76,2 x 128	4 x 5	41,65	851,62	225,0
203,2	8	5,21	651,02	172,0
203,2	8	10,41	934,9	247,0
114,3 x 152,4	4 1/2 x 6	20,83	1317,18	348,0
114,3 x 152,5	5 1/2 x 6	41,65	1869,79	494,0
254	10	5,21	1525,83	403,1
254	10	10,41	1786,52	472,0
127 x 203,2	5 x 8	20,83	2464,03	651,0
101,6 x 254	4 x 10	41,65	3993,17	1055,0
Para SI: 25,4 mm = 1 pulgada, 304,8 mm = 1 pie, 3,785 L/m = 1 galón por minuto, 83,3 mm/m = 1 pulgada/pie. * Las dimensiones son ancho por profundidad para formas rectangulares, las dimensiones individuales son los diámetros de un semicírculo				

Nota. Tomado de NTC 1500, 2017.

Apéndice E. Dimensiones bajantes.**Tabla 4***Dimensión del tubo vertical principal según su capacidad*

Dimensión de la bajante vertical [pulg]	Capacidad [L/m]	Capacidad [gpm]
2	113,5	30,0
2 x 2	113,5	30,0
1 1/2 x 2 1/2	113,5	30,0
2 1/2	204,4	54,0
2 1/2 x 2 1/2	204,4	54,0
3	348,2	92,0
2 x 4	348,2	92,0
2 1/2 x 3	348,2	92,0
4	726,7	192,0
3 x 4 1/4	726,7	192,0
3 1/2 x 4	726,7	192,0
5	1326,6	350,5
4 x 5	1326,6	350,5
4 1/2 x 4 1/2	1326,6	350,5
6	2130,9	563,0
5 x 6	2130,9	563,0
5 1/2 x 5 1/2	2130,9	563,0
8	4572,3	1208,0
6 x 8	4572,3	1208,0

Nota. Tomado de NTC 1500, 2017.

Tabla 5*Máxima capacidad en bajantes*

▼ Máxima capacidad en bajantes

Ø"	Caudal en litros por segundo		
	r = 1/4	r = 7/24	r = 1/3
2	1,10	1,40	1,80
3	3,20	4,20	5,20
4	7,00	9,10	11,30
6	20,70	26,70	33,40
8	44,50	57,60	71,90
10	80,80	104,00	130,40
12	131,00	169,80	212,00

Nota. Tomado de Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones. Carmona, 2015.

Apéndice F. Recomendaciones generales de ubicación del tanque de almacenamiento.

Se recomiendan las siguientes consideraciones al momento de localizar en donde se instalará el tanque de almacenamiento (MWE, 2014) (Despins, 2012):

- Dejar una distancia mínima horizontal de 1.5 metros de cualquier edificación existente.
- Si el tanque está construido en cemento y su altura supera los 2.0 metros, es necesario un refuerzo interno, provocando aumento en los costos de construcción.
- No es aconsejable tanques de almacenamiento con alturas mayores a los 2.0 metros de altura, debido a que la mayoría de los techos tienen una altura entre los 2.5-3.0 metros de altura generando dificultades para la instalación del sistema de conducción.
- Construir próximo al módulo de captación, sistema de bombeo, sistema de presión.
- Consultar las propiedades del suelo.
- Condiciones del sitio: clasificación del sitio, disponibilidad del espacio, accesibilidad.
- Problemas climáticos de la región.
- Localizar el tanque preferiblemente alejado de establos o grupos de animales.
- Localizar el tanque en un lugar con altura esto para aprovechar la energía y compensar la pérdida de energía causada por la fricción de la tubería de distribución.

Apéndice G. Ventajas y precauciones en la ubicación de un tanque de almacenamiento.**Tabla 6***Ventajas y desventajas de la ubicación de un tanque de almacenamiento*

Ubicación del tanque	Ventajas	Desventajas
Sobre el suelo	No tiene costos de excavación del sitio asociado al subsuelo de lugar.	El agua lluvia puede congelarse a menos que se tenga control de la temperatura
Bajo tierra	El tanque de almacenamiento no presenta congelaciones en las heladas. No ocupa espacio.	La localización debe estar libre de líneas de servicio enterradas y con acceso a maquinaria de excavación. El costo de excavación puede incrementar el costo del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias.
Almacenamiento integrado	Poco o nulo costo de excavación. El tamaño del tanque puede ser personalizado para el espacio disponible. Permite operación durante todo el año.	Los ingenieros deben diseñar el tanque de almacenamiento de tal manera que no presente fisuras ni filtraciones

Nota. Tomado de Guidelines for Residential Rainwater Harvesting Systems Handbook, 2012.

Apéndice H. Operaciones de mantenimiento del tanque de almacenamiento.**Tabla 7***Procedimiento para la limpieza de un tanque de almacenamiento*

Limpieza tanque de almacenamiento	
1. Abrir el grifo del tanque interceptor o retirar el tapón del bajante.	6. Humedezca el rodillo con solución de cloro y páselo por las paredes como si estuviera pintando. también es posible el uso de cepillos unidos a un palo de escoba.
2. Destapar los tanques.	7. Dejar actuar la solución clorada por cuatro horas
3. Ingresar al tanque (si es posible).	8. Evacuar el agua producto de la limpieza del tanque.
4. Remueva el material de sedimentación (Barro) que se encuentra en el fondo del tanque.	9. Colocar la tapa del tanque y verificar que este bien cerrada.
5. Limpiar con un cepillo la superficie interior del tanque, retirar el lodo acumulado por la limpieza y enjuagar con agua y solución de cloro.	

Nota. Tomado de Superintendencia de sociedades, instructivo de limpieza y desinfección de tanques de agua potable, 2014.

Apéndice I. Demanda Interior.**Tabla 8***Consumo de agua de diversas actividades domésticas*

Actividad	Min [L]	Max [L]	Veces/día
Lavar loza a mano	5	16	0,5
Lavavajillas	8	20	1
Lavabo	1	5	14
Ducha	30	80	3
Bañera pequeña-normal	115	180	1
Baño Niño	20	40	0
Bidet	10	20	2
WC con cisterna en alto	6	12	0
WC con cisterna baja	6	9	12
Wc con cisterna a presión	6	12	0
Limpieza de la casa	20	100	1
5 kg de ropa en Lavadora	50	150	1
Coche con cubo	20	40	0,2
Coche con manguera	230	350	0
Riego del jardín por m2	5	10	0

Nota. Tomado de Taschenbuch der Wasserversorgung, Vieweg Verlag, 13 Auflage, Oktober, 2002.

Apéndice J. Demanda Exterior.**Tabla 9***Dotaciones de agua de algunas especies para diferentes condiciones*

Especie		Condición de consumo	Consumo
Aves	Gallinas	-	15 litros día por 100 cabezas
	Pavos	-	30 litros día por 100 cabezas
Bovinos	-	-	450 litros día por 10 cabezas
Equinos	Caballos y mulas	-	20 - 45 litros día
Caninos	Perros	-	0,5 – 5.0 Litros día
Cerdos	-	Primeros 12 meses	10 - 12 litros día por 100 Kg de peso
		Engorde	3,0 - 4,0 litros día por kg de materia seca consumida
		Marranas en lactancia	15 - 20 litros día
Ovinos	De pelo	32 - 35 kg de peso	3,0 litros día (invierno)
			3,8 litros día (verano)
	En pastoreo	Bajo sombra	8,0 litros día
Sin protección		11 litros día	
Caprinos	-	-	4,5 - 8,0 litros día
Camélidos	Alpaca	-	2,9 litros día
Cuyes	Hembras primerizas	-	30 a 70 ml día
	Machos y Hembras destetados	-	45 a 198 ml día

Nota. Tomado de Captación y almacenamiento de agua lluvia. FAO, 2013.

Tabla 10

Consumo de agua observado para diferentes clases de bovinos y bajo diferentes condiciones ambientales

Finalidad	T° Media anual o estación	Consumo
Carne	5° C	3 litros día por cada Materia seca consumida
	32° C	8 litros día por cada Materia seca consumida
Leche	-	3,0 - 4,0 litros día por cada Materia seca consumida
		3,0 - 4,0 litros por cada litro de leche
Toros adultos	Invierno	25 litros día
	Verano	50 - 60 litros día

Nota. Tomado de Colacelli, 1997.

Tabla 11

Consumo de agua diario aproximado (litros por animal) en ganado de carne.

Temperatura media °C	Vacas lactando 409 kg	Vacas secas preñadas 409 kg	Animales en crecimiento		Animales en terminación	
			182 kg	273 kg	364 kg	454 kg
4,4	43,1	25,4	15,1	20,1	27,6	32,9
10	47,7	27,3	16,3	22	29,9	35,6
14,4	54,9	31,4	18,9	25	34,4	40,9
21,1	64	36,7	22	29,5	40,5	47,7
26,6	67,8		25,4	33,7	46,6	54,9
32,2	61,3		36	48,1	65,9	78

Nota. Adaptado de Winchester y Morris, 1956, citado por Colacelli, 1997.

Apéndice K. Métodos para el diseño del tanque de almacenamiento.

Tabla 12

Distintos métodos para diseño de un tanque de almacenamiento

Tipo de método		Método
1	Simplificado	1. ANQIP 2. DIN 3. EA 4. IRC
2	Simulación continua Balance de masa	1. YAS 2. YBS 3. θ
3	Dimensionamiento económico	1. Función amortiguadora de costos 2. Función de costos de ahorro de agua potable
4	Estadísticos	1. Método basado en un generador de lluvia estocástico no paramétrico 2. Método basado en un modelo probabilístico

Nota. Tomado de Celis, 2018.

Apéndice L. Clasificación de los contaminantes presentes en el agua.

Tabla 13

Clasificación de los contaminantes presentes en el agua

Físicos	Químicos	Gaseosos	Biológicos
Color	Materia Orgánica	Metano	Bacterias
Olor	Acidez	Ácido Sulfhídrico	Hongos
Sabor	Alcalinidad	Anhidrido carbónico	Protozoos
Grasas y aceites	pH		Algas
Espumas	Nitrógeno		Animales
Radioactividad	Fosforo		Plantas
Temperatura	Salinidad		Virus
Solidos Disueltos	Metales pesados		
Solidos en suspensión	Detergentes		
	Compuestos Tóxicos		
	Pesticidas		

Nota. Tomado de Funiber, 2011.

Apéndice M. Clasificación cualitativa de los tratamientos.**Tabla 14***Clasificación cualitativa de diferentes tecnologías de tratamiento*

		Reducción de la contaminación fisicoquímica	reducción de la contaminación microbiológica	Costos de Inversión	Costos de operación y mantenimiento	Impacto ambiental positivo	clasificación
Tratamiento Primario	Filtros Lentos de arena	3	2	2	2	3	12
	Filtración de Membrana	2	2	1	1	3	9
Desinfección	Cloración	2	3	3	3	2	13
	Tanque de Almacenam. de agua caliente	1	2	1	1	2	7
	Ozonización	3	3	2	2	3	13
	Irradiación Solar	1	2	3	3	3	12
	desinfección UV	1	3	2	2	3	11

Nota. Tomado de Gomez y Silva, 2019.

Apéndice N. Volumen óptimo de separación para diferentes condiciones.

Tabla 15

Volumen de separación óptimo.

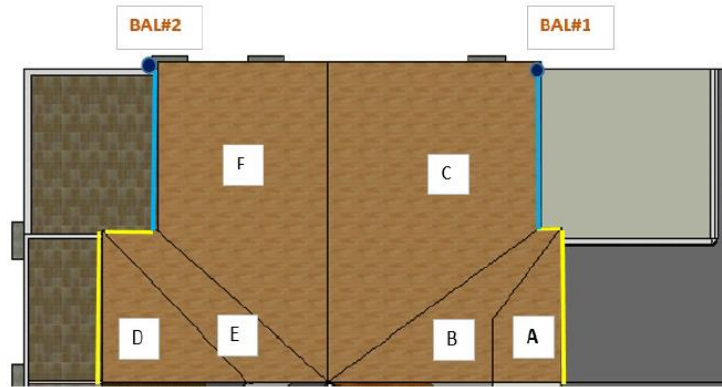
Referencia	Especificaciones	Separación recomendada
(Yaziz, et al. 1989)	Seguridad contra contaminación microbiana	0,33 mm
(Ntale, et al. 2003)	-Valor empírico -Se debe disminuir en temporada de lluvia	0,83 mm o primeros 10 minutos de lluvia
(Martinson y Thomas, 2005)	Basado en medidas de muestra	Por cada mm lavado, la carga contaminante será reducida a la mitad
(Cunliffe, 1998)	Para un techo promedio	20 a 25 litros
(Rain Harvesting)	- Contaminación mínima - Contaminación media - Contaminación alta	- 0.2 mm - 0.5 mm - 2 mm
(Pacey and Cullis, 1986)		Primeros 10 minutos del evento de lluvia
(Texas Water Development Board, 2005)	Dependiendo de días secos, escombros, árboles y la estación del año	0.41mm a 0.82 mm
(Michaelides, 1987)	Basado en trabajo experimental en Tailandia	0.28 mm

Nota. Tomado de Pérez Carmona. Instalaciones hidrosanitarias y aparatos hidráulicos, 2010.

Apéndice O. Configuración y distribución de áreas de captación del techo de la vivienda.

Figura 3

Zonas de captación de la vivienda

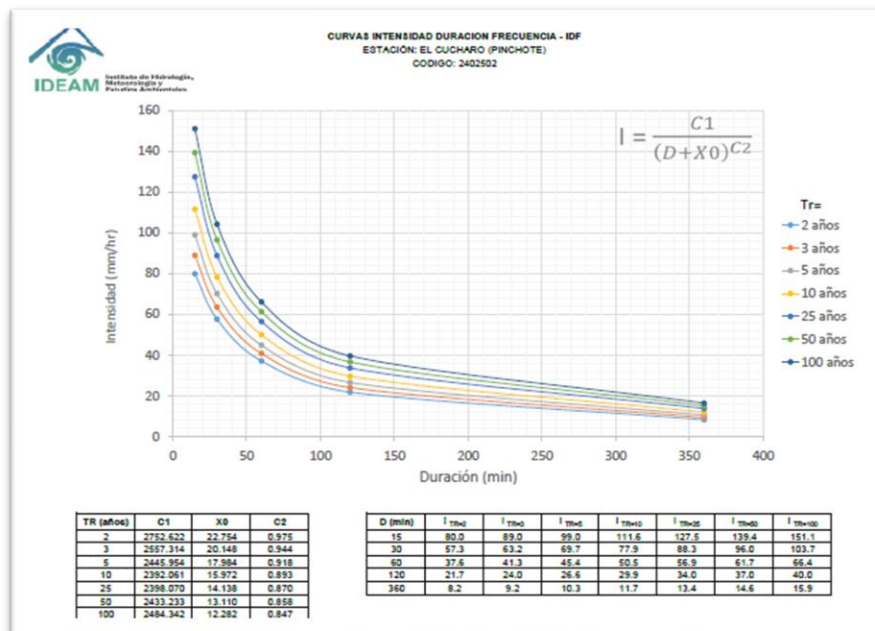


Nota. Tomado de Rivera, M. y Zaraza, J. Factibilidad técnica y económica de un sistema hidrosanitario para la reutilización de aguas grises y pluviales, caso de estudio en vivienda de alto consumo del A.M. de Bucaramanga, Colombia. (2015).

Apéndice P. Curvas IDF – Estación El Cucharó (Pinchote).

Figura 4

Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia Estación El Cucharó (Pinchote).

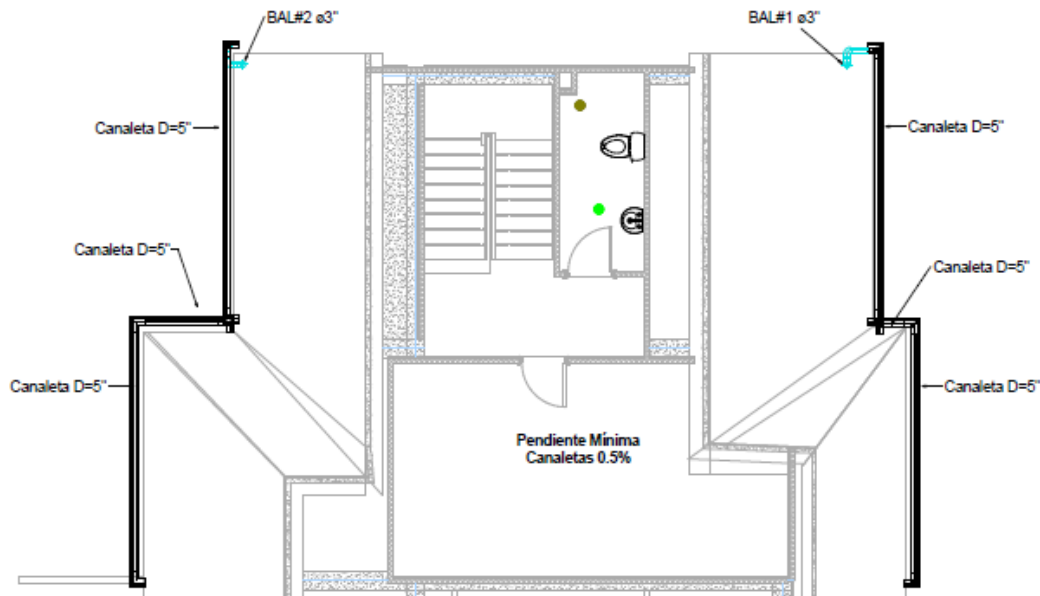


Nota. Tomado de IDEAM, 2017.

Apéndice Q. Dimensiones de canaletas instaladas en la vivienda.

Figura 5

Plano en planta de la cubierta de la vivienda (canaletas).



Nota. Tomado de Factibilidad técnica y económica de un sistema hidrosanitario para la reutilización de aguas grises y pluviales, caso de estudio en vivienda de alto consumo del A.M. de Bucaramanga, Colombia. Rivera y Zaraza, 2015.

Apéndice R. Valores promedio multianual de las componentes del balance hídrico de la mesa de Los Santos.

Tabla 16. Valores de evapotranspiración utilizados para el dimensionamiento del tanque 1.

Parámetro	Valor [mm/año]
Precipitación (P)	1145,60
Evapotranspiración Real (ETR)	814,78
% de P que se convierte en ETR	71,1%
Oferta hídrica	330,82
Esorrentía (Q)	400.43
Efecto antrópico (A)	17.53
Infiltración potencial (I)	-87.14

Nota. Tomado de Balance hídrico para estimar recarga potencial en la mesa de Los Santos y dirección de flujo subterránea. Becerra y Parra, 2016.

Apéndice S. Información para el análisis del cultivo de tabaco.

Tabla 17

Duración de las etapas del cultivo de tabaco

Fases del cultivo	Década
	(días)
Crecimiento Lento	0 - 11
	nov-21
	21 - 31
Crecimiento Rapido	31 - 41
	41 - 51
	51 - 61
Floración	61 - 71
	71 - 81
Maduración	81 - 91
	91 - 101
	101 - 105

Nota. Tomado de Requerimientos hídricos del cultivo de tabaco en el Departamento del Huila. Universidad Surcolombiana Facultad de Ingenierías, 2016.

Tabla 18

Coefficientes de cultivos (Kc) de cultivos anuales.

Cultivo	Primera etapa	Segunda etapa	Tercera etapa	Cuarta etapa
Algodón	0.45	0.75	1.15	0.75
Avena	0.35	0.75	1.15	0.45
Berenjena	0.45	0.75	1.15	0.80
Cacahuete	0.45	0.75	1.05	0.70
Tabaco	0.35	0.75	1.10	0.90
Tomate	0.45	0.75	1.15	0.80
Trigo	0.35	0.75	1.15	0.45
Zanahoria	0.45	0.75	1.05	0.90

Nota. Tomado de la FAO. Riego y Drenaje, 2006.

Apéndice T. Resultados dimensionamiento de los tanques por métodos continuos de balance de masa.

Figura 6

Valores de oferta y demanda de la primera semana para el dimensionamiento del tanque 1.

Fecha	Tipo de día	Día total	Día del mes	Precipitación [mm/día]	ETr [mm/día]	Precipit. real [m/día]	Qt [L/día]
31-oct-10	Domingo	1	31	47	2,23	44,77	3617,2
1-nov-10	Lunes	2	1	0	2,23	0,00	0,0
2-nov-10	Martes	3	2	16	2,23	13,77	1112,4
3-nov-10	Miércoles	4	3	0	2,23	0,00	0,0
4-nov-10	Jueves	5	4	1,6	2,23	0,00	0,0
5-nov-10	Viernes	6	5	0	2,23	0,00	0,0
6-nov-10	Sábado	7	6	0	2,23	0,00	0,0

Nota. Realizado por los autores.

Figura 7

Resultados aplicación métodos YAS, YBS y THETA y eficiencias Tanque 1.

Dimensionamiento Tanque 3																		
Demanda caso B			Método YAS Caso B						Método YBS Caso B					Método THETA Caso B				
Doméstica [L/día]	Plantas y cultivos [L/día]	Demanda total [L/día]	V t-1 [L/día]	Yt [L/día]	Vt [L/día]	Deficit [L/día]	V derrame [L]	Eficiencia %	Yt [L/día]	Vt [L/día]	Deficit [L/día]	V derrame [L]	Eficiencia %	Yt [L/día]	Qt [L/día]	Deficit Dt-Yt [L/día]	V derrame [L]	Eficiencia %
421,0	25,2	446,2	5000,0	446,2	4553,8	0,0	3171,0	50,4%	446,23	5000,00	0,00	3171,00	54,6%	446,23	4776,88	0,00	4330,65	54,3%
351,0	70,0	421,0	4553,8	421,0	4132,8	0,0	0,0		421,00	4132,77	0,00	0,00		421,00	4132,77	0,00	3265,54	
151,0	56,2	207,2	4132,8	207,2	4792,8	0,0	38,0		207,23	5000,00	0,00	37,97		207,23	4896,38	0,00	3821,92	
291,0	70,0	361,0	4792,8	361,0	4431,8	0,0	0,0		361,00	4431,77	0,00	0,00		361,00	4431,77	0,00	3863,54	
151,0	70,0	221,0	4431,8	221,0	4210,8	0,0	0,0		221,00	4210,77	0,00	0,00		221,00	4210,77	0,00	3421,54	
201,0	70,0	271,0	4210,8	271,0	3939,8	0,0	0,0		271,00	3939,77	0,00	0,00		271,00	3939,77	0,00	2879,54	
291,0	70,0	361,0	3939,8	361,0	3578,8	0,0	0,0		361,00	3578,77	0,00	0,00		361,00	3578,77	0,00	2157,54	

Nota. Realizado por los autores.

Figura 8

Valores de oferta y demanda de la primera semana para el dimensionamiento del tanque 2.

fecha	Tipo de día	Día del mes	Día total	Precipitación [mm/día]	Dt (4 hab) [l/día]	Qt [l/día]	V t-1 [l/día]
31-oct-10	Domingo	31	1	47	111	3797,6	1250
1-nov-10	Lunes	1	2	0	261	0	2389
2-nov-10	Martes	2	3	16	111	1292,8	2128
3-nov-10	Miércoles	3	4	0	261	0	2389
4-nov-10	Jueves	4	5	1,6	111	129,28	2128
5-nov-10	Viernes	5	6	0	111	0	2146,28
6-nov-10	Sábado	6	7	0	261	0	2035,28

Nota. Realizado por los autores.

Figura 9

Resultados aplicación métodos YAS, YBS y THETA y eficiencias Tanque 2.

Método YAS					Método YBS					Método THETA				
Yt [l/día]	Vt [l/día]	Deficit Dt-Yt	V derrame [L]	Eficiencia %	Yt [l/día]	Vt [l/día]	Deficit Dt-Yt	V derrame [L]	Eficiencia %	Yt [l/día]	Qt [l/día]	Deficit Dt-Yt	V derrame [L]	Eficiencia %
111	2389	0	2436,6	63,21%	111	2500	0	2436,6	67,53%	111	2444,5	0	1083,5	66,92%
261	2128	0	0		261	2128	0	0		261	2128	0	1756	
111	2389	0	809,8		111	2500	0	809,8		111	2444,5	0	1961,5	
261	2128	0	0		261	2128	0	0		261	2128	0	1756	
111	2146,28	0	0		111	2146,28	0	0		111	2146,28	0	1663,28	
111	2035,28	0	0		111	2035,28	0	0		111	2035,28	0	1570,56	
261	1774,28	0	0		261	1774,28	0	0		261	1774,28	0	1048,56	

Nota. Realizado por los autores.

Figura 10

Valores de oferta y demanda de la primera semana para el dimensionamiento del tanque 3.

fecha	Tipo de día	Día del mes	Día total	Precipitación [mm/día]	Dt (4 hab) [l/día]	Qt [l/día]	V t-1 [l/día]
31-oct-10	Domingo	31	1	47	151,5	2538	2000
1-nov-10	Lunes	1	2	0	151,5	0	3848,5
2-nov-10	Martes	2	3	16	151,5	864	3697
3-nov-10	Miércoles	3	4	0	151,5	0	3848,5
4-nov-10	Jueves	4	5	1,6	151,5	86,4	3697
5-nov-10	Viernes	5	6	0	151,5	0	3631,9
6-nov-10	Sábado	6	7	0	151,5	0	3480,4

Nota. Realizado por los autores.

Figura 11

Resultados aplicación métodos YAS, YBS y THETA y eficiencias Tanque 3.

Método YAS					Método YBS					Método THETA				
Yt [l/día]	Vt [l/día]	Deficit Dt-Yt	V derrame [L]	Eficiencia %	Yt [l/día]	Vt [l/día]	Deficit Dt-Yt	V derrame [L]	Eficiencia %	Yt [l/día]	Qt [l/día]	Deficit Dt-Yt	V derrame [L]	Eficiencia %
151,5	3848,5	0	386,5	62,22%	151,5	4000	0	386,5	66,96%	151,5	3924,25	0	1772,75	66,28%
151,5	3697	0	0		151,5	3697	0	0		151,5	3697	0	3394	
151,5	3848,5	0	409,5		151,5	4000	0	409,5		151,5	3924,25	0	3469,75	
151,5	3697	0	0		151,5	3697	0	0		151,5	3697	0	3394	
151,5	3631,9	0	0		151,5	3631,9	0	0		151,5	3631,9	0	3177,4	
151,5	3480,4	0	0		151,5	3480,4	0	0		151,5	3480,4	0	2960,8	
151,5	3328,9	0	0		151,5	3328,9	0	0		151,5	3328,9	0	2657,8	

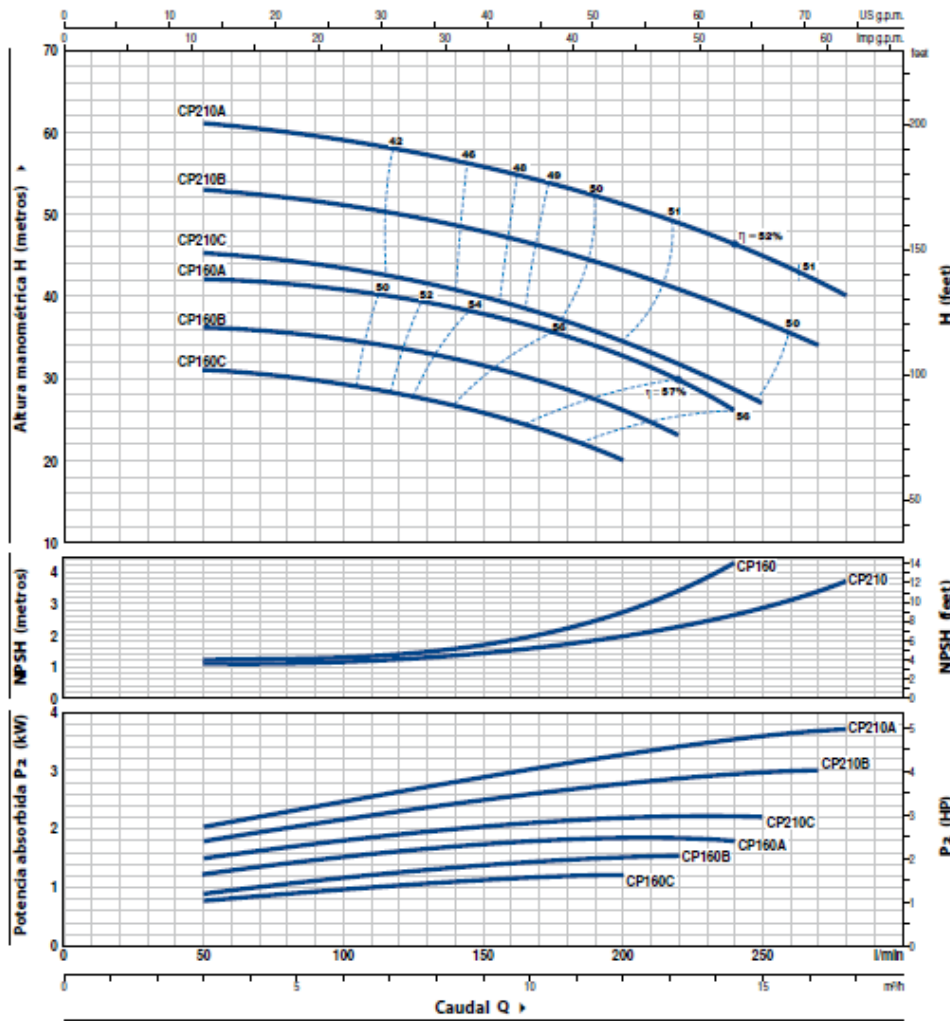
Nota. Realizado por los autores.

Apéndice U. Especificaciones bombas hidráulicas.

Figura 12. Curva característica de la bomba

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			m ³ /h	0	3	4.5	6	7.5	9	10.5	12	13.2	14.4	15	16.2	16.8		
					l/min	0	50	75	100	125	150	175	200	220	240	250	270	280			
CPm 160C	CP 160C	1.1	1.5	IE2	H metros	32	31	30.5	29.5	28	26	23	20								
CPm 160B	CP 160B	1.5	2	IE3		37	36	35.5	34.5	33.5	31.5	29	26.5	23							
-	CP 160A	2.2	3			43	42	41.5	40.5	39.5	38	35.5	33	30	26						
CPm 210C	CP 210C	2.2	3			46	45.5	44.5	43.5	42	40	37.5	34.5	32	28.5	27					
-	CP 210B	3	4			54	53	52	51	49.5	48	45.5	43	40	38.5	37	34				
-	CP 210A	4	5.5			61	61	60	59	57.5	56	53.5	51	49	46.5	45	42	40			

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

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

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

Nota. Tomado del Catálogo comercial de bombas PEDROLLO.

Apéndice V. Tablas del dimensionamiento del caso de estudio.**Tabla 19***Demanda interna de aparatos sanitarios.*

Aparatos sanitarios	Uso diario (veces)	Demanda unitaria (L/día)	Demanda total (L/día)
Inodoro	1	6	30
Lavamanos	2	1	10
Lavaplatos	3	6	12
Lavadora	2/7	30	8.6
Ducha	3/7	30	64.3
Lavavajillas	1	14	14
Lavadero	2/7	30	8.6

Nota. Realizado por los autores.**Tabla 20***Demanda interna de actividades domésticas.*

Actividad doméstica	Uso diario (veces)	Demanda unitaria (L/día)	Demanda total (L/día)
Consumo (cocinar y beber)	1	15	75
Limpieza del hogar	2/7	35	10
Lavado del coche	1/7	280	40

Nota. Realizado por los autores.**Tabla 21***Demanda de crianza de animales.*

Especie	Número de cabezas	Consumo por cabeza (L/día)	Consumo total (L/día)
Gallinas	150	0.15	22.5
Bovinos	4	30	120
Caninos	3	3	9

Nota. Realizado por los autores.

Tabla 22

Áreas de cada zona captación del techo de la vivienda.

Área de captación 1	
Zona	Área (m ²)
A	5,5
B	9,2
C	38,9
D	8,2
E	7,7
F	31,5
Área de captación 2	
Zona	Área (m ²)
G	60

Nota. Realizado por los autores.

Tabla 23

Áreas y caudales de cada zona de captación.

Zona	Área [m ²]	Área acumulada [m ²]	Caudal [L/min]
A	5.5	5.5	10.6
B	9.2	14.7	28.32
C	38.9	53.6	103.27
D	8.2	8.2	15.8
E	7.7	15.9	30.63
F	31.5	47.4	91.32
G	60	60	130.05

Nota. Realizado por los autores.

Tabla 24*Dimensiones de las canaletas para cada zona de captación.*

Zona	Caudal [L/min]	Diámetro requerido [mm]	Diámetro final [mm]
A	10.6	101.6	127
B	28.32	101.6	127
C	103.27	101.6	127
D	15.8	101.6	127
E	30.63	101.6	127
F	91.32	101.6	127
G	130.05	101.6	127

Nota. Realizado por los autores.**Tabla 25***Chequeo profundidad de canaletas.*

Zona	D (in)	D (m)	Q (L/min)	n	S (%)	Y (m)	θ (rad)	Área (m ²)	P (m)	Rh (m)	Prof. (%)
A	5	0.127	10.6	0.015	2%	0,015	1,830	0,002	0,116	0,015	23%
B	5	0.127	28.32	0.015	2%	0,021	1,966	0,002	0,125	0,017	33%
C	5	0.127	103.7	0.015	2%	0,035	2,285	0,003	0,145	0,021	54%
D	5	0.127	15.8	0.015	2%	0,016	1,866	0,002	0,118	0,015	26%
E	5	0.127	30.62	0.015	2%	0,021	1,966	0,002	0,125	0,017	33%
F	5	0.127	91.32	0.015	2%	0,035	2,285	0,003	0,145	0,021	54%
G	5	0.127	103.06	0.015	2%	0,021	1,953	0,002	0,124	0,017	32%

Nota. Realizado por los autores.

Tabla 26*Chequeo velocidad y esfuerzo cortante de las canaletas horizontales.*

Zona	Diámetro [mm]	Perímetro [m]	S [%]	Esfuerzo cortante [Pa]
A	127	0,116	2%	22,4
B	127	0,125	2%	24,5
C	127	0,145	2%	28,4
D	127	0,118	2%	23,2
E	127	0,125	2%	24,5
F	127	0,145	2%	28,4
G	127	0,124	2%	24,3

Nota. Realizado por los autores.**Tabla 27***dimensiones de los bajantes.*

Bajante	Caudal [L/min]	Diámetro requerido [mm]	Diámetro final [mm]
1	103.7	76.2	76.2
2	91.32	76.2	76.2
3	130.05	76.2	76.2

Nota. Realizado por los autores.**Tabla 28***Chequeo velocidad y longitud terminal en los bajantes.*

Bajante	Caudal (L/s)	D (pulg)	Vt (m/s)	Lt (m)
1	1,73	3	2,21	0,8337
2	1,52	3	2,10	0,7517
3	2.17	3	2,42	1.0

Nota. Realizado por los autores.

Tabla 29*Volumen requerido del desviador para cada bajante.*

Bajante	Área Acumulada [m ²]	Volumen desviador [L]
1	53.6	53.6
2	47.4	47.4
3	60	60

Nota. Realizado por los autores.**Tabla 30***Principales características de filtros.*

Característica	Filtros Lentos de arena	Filtros Rápidos de Arena	Filtros de Alta tasa
Tasa de filtración	2-5 (<12 m/d)	120 m/d	180-480 m/d
Medio	Arena	Arena	Arena y antracita
Distribución de medio	No estratificado	Estratificado: Fino a grueso	Estratificado: grueso a fino
Duración Carrera	20-60 días	12-36 horas	12-36 horas
Perdida de carga	Inicial: 0,6 m Final: 1,2 m	Inicial: 0,3 m Final: 2,4 - 3 m	Inicial: 0,3 m Final: 2,4 - 3 m
Agua de lavado	No usa	2 - 4% del agua filtrada	6% del agua filtrada
Profundidad del medio	0,6 - 1,0 m	0,6 - 0,75 m	Antracita 0,4 - 0,6 m Arena 0,15 - 0,3 m
Profundidad de grava	0,3 m	0,3 - 0,45 m	0,3 - 0,45 m
Drenaje	Tubería perforada	Tubería perforada falsos fondos	Tubería perforada falsos fondos

Nota. Tomado del libro Potabilización Del Agua. Jaime Romero, 2003.**Tabla 31***Dimensiones filtro lento de arena*

Q (m ³ /d)	TF (m/d)	A (m ²)	R (m)
280.2	5	0,48	0,39

Nota. Realizado por los autores.

Tabla 32

Calculo NPSH disponible.

Calculo NPSH							
a	b	c	d	e	f	A.M.S	NPSH D
0,24	0,125	0,36	1,8	0	0,2	7,605	8,63

Nota. Realizado por los autores.

Tabla 33

Cheques de presiones en cada tramo.

T			Altura	LONG	UH.	G.P	Q	Di	Di	s	hf	V	V	V	hfa	ε h	P
#	De	Hasta	[m]	Fisica		lts/seg	m3/seg	pulg	mm	[m/km]	[m]	[m/s]	min [m/s]	max [m/s]	[m]	[m]	[m.c.a]
1	T2	A1	1,61	0,74	39	1,49	0,00149	1 1/4"	38,14	71,1	0,05	1,52	ok	Ok	1,72	1,77	20,62
2	A1	LVR	2,81	1,44	3	0,2	0,0002	1/2"	15,2	152,4	0,22	1,29	ok	Ok	0,23	2,22	18,97
3	A1	B1	1,61	1,12	9	0,53	0,00053	3/4"	23,63	108,0	0,12	1,41	ok	Ok	0,23	2,12	20,27
4	B1	LV DORA	2,81	1,4	3	0,2	0,0002	1/2"	15,2	152,4	0,22	1,29	ok	Ok	0,05	2,39	18,80
5	B1	C1	1,61	2,3	6	0,42	0,00042	3/4"	23,63	70,2	0,16	1,12	ok	Ok	0,15	2,43	19,96
6	C1	WC 1-1	1,91	0,8	3	0,2	0,0002	1/2"	15,2	152,4	0,12	1,29	ok	Ok	0,08	2,63	19,46
7	C1	D1	1,61	0,64	3	0,2	0,0002	1/2"	15,2	152,4	0,10	1,29	ok	Ok	0,08	2,60	19,79
8	D1	LM 1-1	2,81	1,62	1	0,06	0,00006	1/2"	15,2	16,4	0,03	0,39	No	Ok	0,01	2,64	18,55
9	D1	DU 1-1	3,61	3,14	2	0,13	0,00013	1/2"	15,2	68,6	0,22	0,84	ok	Ok	0,08	2,90	17,49
10	A1	E1	1,61	3,72	27	1,15	0,00115	1 1/4"	38,14	44,0	0,16	1,18	ok	Ok	0,00	1,93	20,46
11	E1	LV1	2,81	4,54	1	0,06	0,00006	1/2"	15,2	16,4	0,07	0,39	No	Ok	0,01	2,01	19,18
12	E1	F1	1,61	0,1	26	1,1	0,0011	1 1/4"	38,14	40,6	0,00	1,12	ok	Ok	0,15	2,08	20,31
13	F1	FR 1	2,81	1,4	3	0,2	0,0002	1/2"	15,2	152,4	0,21	1,29	ok	Ok	0,12	2,42	18,77
14	F1	G1	1,61	1,56	23	1	0,001	1 1/4"	38,14	34,0	0,05	1,02	ok	Ok	0,12	2,26	20,13
15	G1	H1	1,61	2,44	4	0,26	0,00026	1/2"	15,2	247,7	0,60	1,67	ok	Ok	0,26	3,12	19,27
16	H1	LM 1-2	2,81	2,17	1	0,06	0,00006	1/2"	15,2	16,4	0,04	0,39	No	Ok	0,02	3,17	18,02
17	H1	WC 1-2	1,91	2,08	3	0,2	0,0002	1/2"	15,2	152,4	0,32	1,29	ok	Ok	0,00	3,44	18,65
18	G1	J1	1,61	0,73	19	0,86	0,00086	1"	30,2	80,1	0,06	1,40	ok	Ok	0,23	2,55	19,84
19	J1	A2	4,51	2,9	19	0,86	0,00086	1"	30,2	80,1	0,23	1,40	ok	Ok	0,09	2,87	16,62
20	A2	B2	4,51	0,56	13	0,83	0,00083	1"	30,2	75,0	0,04	1,35	ok	Ok	0,17	3,08	16,41
21	B2	C2	4,51	0,41	6	0,42	0,00042	3/4"	23,63	70,2	0,03	1,12	ok	Ok	0,06	3,17	16,32
22	C2	LM 2-2	5,71	1,76	1	0,06	0,00006	1/2"	15,2	16,4	0,03	0,39	No	Ok	0,02	3,21	15,08
23	C2	D2	4,51	2,08	5	0,38	0,00038	3/4"	23,63	58,3	0,12	1,01	ok	Ok	0,00	3,29	16,20
24	D2	DU 2-1	6,51	2,21	2	0,13	0,00013	1/2"	15,2	68,6	0,15	0,84	ok	Ok	0,08	3,52	13,97
25	D2	WC 2-1	4,81	1,83	3	0,2	0,0002	1/2"	15,2	152,4	0,28	1,29	ok	Ok	0,08	3,64	15,55
26	B2	E2	4,51	0,22	7	0,46	0,00046	3/4"	23,63	83,1	0,02	1,23	ok	Ok	0,18	3,28	16,21
27	E2	LM 2-1	4,51	1,76	1	0,06	0,00006	1/2"	15,2	16,4	0,03	0,39	No	Ok	0,01	3,31	16,18
28	E2	F2	4,51	6,45	6	0,42	0,00042	3/4"	23,63	70,2	0,45	1,12	ok	Ok	0,15	3,88	15,61
29	F2	LM 2-3	5,71	1,51	1	0,06	0,00006	1/2"	15,2	16,4	0,02	0,39	No	Ok	0,00	3,90	14,39
30	F2	G2	4,51	1,23	5	0,38	0,00038	3/4"	23,63	58,3	0,07	1,01	ok	Ok	0,12	4,07	15,42
31	G2	WC 2-2	4,81	0,53	3	0,2	0,0002	1/2"	15,2	152,4	0,08	1,29	ok	Ok	0,08	4,22	14,97
32	G2	DU 2-2	6,51	2,92	4	0,26	0,00026	1/2"	15,2	247,7	0,72	1,67	ok	Ok	0,33	5,12	12,37
33	A2	A3	7,41	2,9	6	0,42	0,00042	3/4"	23,63	70,2	0,20	1,12	ok	Ok	0,15	3,22	13,37
34	A3	B3	7,41	4,37	6	0,42	0,00042	3/4"	23,63	70,2	0,31	1,12	ok	Ok	0,11	3,64	12,95
34	B3	LM 3-1	8,61	1,51	1	0,06	6E-05	1/2"	15,2	16,4	0,02	0,39	No	Ok	0,01	3,68	11,71
34	B3	C3	7,41	1,1	5	0,38	0,0004	3/4"	23,63	58,3	0,06	1,01	ok	Ok	0,09	3,80	12,79
34	C3	WC 3-1	7,71	0,51	3	0,2	0,0002	1/2"	15,2	152,4	0,08	1,29	ok	Ok	0,15	4,03	12,26
34	C3	DU 3-1	9,41	2,86	2	0,13	0,0001	1/2"	15,2	68,6	0,20	0,84	ok	Ok	0,06	4,29	10,30

Nota. Realizado por los autores.

Apéndice W. Planos Trazado red de distribución.

