



Factibilidad técnica y económica de un sistema de captación y aprovechamiento de aguas
lluvias para las instalaciones de la empresa Textiles Guarne S.A.S.

Daniel Felipe Escobar Muñoz

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Ambiental

Tutor
Carolina González Morales, MSc Ing. Ambiental

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Ambiental
Medellín, Antioquia, Colombia
2022

Cita	(Escobar Muñoz, 2022)
Referencia	Escobar Muñoz, D. (2022). Factibilidad técnica y económica de un sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvias para las instalaciones de la empresa Textiles Guarne S.A.S. [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Índice

1. Introducción.....	4
2. Planteamiento del problema.....	5
3. Objetivos.	6
3.1 Objetivo General.....	6
3.2 Objetivos específicos.....	6
4. Marco Teórico.	6
4.1.1 Captación.....	8
4.1.2 Recolección y conducción.	8
4.1.3 Interceptor.....	8
4.1.4 Almacenamiento.	8
4.1.5 Red de Distribución de Agua Lluvia y Sistema de Bombeo.	9
5. Metodología.....	9
6. Resultados 10	10
6.1 Identificación de los procesos que requieren agua dentro de la empresa ...	10
6.2 Diseño del sistema de recolección de aguas lluvias.....	11
6.2.1 Demanda de agua mensual.	11
•Caldera.....	12
•Tintorería.....	13
•Aseo.....	14
6.2.2. Oferta de agua.....	14
•Precipitación promedio mensual.....	15
•Área de captación.....	16
•Coeficiente de escorrentía.....	18
6.2.3 Configuración del sistema de captación de agua lluvia.	18
•Dimensiones del tanque de recolección.	20
•Distribución de tuberías y ubicación del tanque para el sistema de captación propuesto.....	22
7. Análisis costo-beneficio del sistema de recolección de aguas lluvias propuesto.	24
Conclusiones.....	33
Referencias.....	35

1. Introducción.

Según la Organización de Naciones Unidas el agua es el epicentro del desarrollo sostenible, además de ser un eslabón principal en la elaboración de alimentos, energía, sustento de ecosistemas y supervivencia de los seres humanos (ONU, s.f.) por ello, su consumo racional toma gran relevancia en las diferentes actividades económicas que ejerce una población.

Se considera que entre la agricultura y la industria textil se destina más del 80% del consumo de agua a nivel global, donde esta última usa grandes volúmenes principalmente en la etapa de tintura de los tejidos (Rincón et al., 2019).

En Colombia, la fabricación de papel, cartón y la elaboración de productos textiles son las actividades que requieren mayor cantidad de agua en sus procesos, con un consumo proyectado mayor a 400.000 m³ para el año 2019. Además, aunque en ambos casos no es necesario que el agua sea potable (Aristizabal & Correa, 2015), gran parte de este sector utiliza agua del acueducto en todos sus procesos industriales, tal es el caso de la empresa Textiles Guarne S.A.S dedicada a producir y comercializar tejidos angostos, elásticos y rígidos de alta calidad y cuya demanda de agua potable supera los 1300 m³/mes.

Con el objetivo de garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico se expide en Colombia en el año 2010 la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH), política que tiene como una de sus principales estrategias el uso eficiente y sostenible del Agua. En este sentido, se plantea la posibilidad de implementar un sistema de captación de agua lluvia en las instalaciones de la empresa Textiles Guarne S.A.S con el propósito de suplir parte del agua necesaria

en los diferentes procesos de producción, trayendo beneficios ambientales y económicos a la organización.

2. Planteamiento del problema.

Textiles Guarne S.A.S, ubicada en el municipio de Sabaneta (Antioquia), es una empresa dedicada a producir y comercializar tejidos angostos, elásticos y rígidos de alta calidad. La planta opera 24 horas de lunes a viernes y cuenta actualmente con 130 empleados. Su proceso productivo es lineal, inicia con el recubrimiento del material crudo, luego este material es usado por las tejedoras para fabricar los tejidos según las especificaciones del cliente, posteriormente los tejidos pasan por la fase de teñido usando para esto unas máquinas denominadas continuas. Finalmente, los tejidos son enrollados y empacados para su comercialización.

El agua toma un papel de gran relevancia en la planta ya que se usa en diversos procesos durante largos periodos de tiempo o con un alto grado de recurrencia. Se emplea como producto base en la mezcla de colorantes para teñir las cintas y su posterior lavado. Adicionalmente las 9 máquinas continuas con las que cuenta la empresa usan vapor de agua como fuente de calor para su operación y este es generado en una caldera peritubular que utiliza carbón mineral como combustible. Funcionan generalmente de lunes a sábado las 24 h. El agua también es usada en procesos como el enfriamiento de escoria o residuo del carbón, suministro de agua potable para los empleados, servicios sanitarios, tareas de aseo, etc.

Es importante resaltar que el agua usada para cada una de estas operaciones proviene del suministro de agua potable de las empresas públicas de Medellín (EPM). Considerando los altos consumos de agua de la empresa (alrededor de \$6´000.000/mes), su rol en la operación de la planta y su importancia ambiental es necesario encontrar alternativas para obtener este recurso y por tanto en este trabajo se plantea diseñar y evaluar la factibilidad de implementar un sistema de captación de agua lluvias para la empresa Textiles Guarne S.A.S

3. Objetivos.

3.1 Objetivo General.

Proponer un sistema de recolección de agua lluvia para la empresa Textiles Guarne S.A.S. y evaluar su factibilidad técnica y económica.

3.2 Objetivos específicos.

- Identificar los procesos o actividades donde es posible el uso de agua lluvia como sustituto al agua potable.
- Diseñar un sistema de recolección de aguas lluvias que se adapte a las condiciones específicas de la empresa Textiles Guarne S.A.S.
- Realizar un análisis costo/beneficio de la implementación del sistema de recolección de aguas lluvias propuesto.

4. Marco Teórico.

En Colombia actualmente está en vigencia la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH), política que tiene como objetivo ser el instrumento que dirija la gestión integral de este recurso, plantear objetivos

y estrategias para su uso eficiente por parte de las autoridades y usuarios, además, su protección estableciendo instrumentos económicos y normativos.

En sus principios se expone que el agua al ser un bien de uso público, su protección es deber de todos. También prioriza el acceso al agua para consumo humano y que el uso colectivo prima sobre el uso individual. El agua se considera un pilar fundamental para el desarrollo social, cultural y económico, evidenciando la importancia del recurso para el funcionamiento de los diferentes ecosistemas (Ministerio de Ambiente, 2010).

Otro principio de gran importancia es que, al tratarse de un recurso escaso, se debe implementar medidas que propicien su ahorro y uso eficiente.

Una de las actividades económicas que más consumo de agua representa a nivel mundial es la industria textil y el proceso donde se evidencia mayor gasto es en la etapa de tintura de tejidos (Rincón et al., 2019). Sin embargo, no se requiere que el agua sea potable para el desarrollo de esta actividad (Aristizabal & Correa, 2015).

Teniendo en cuenta la PNGIRH y la posibilidad de sustituir el agua potable en los procesos textiles se decidió diseñar un sistema de captación de agua lluvia siguiendo la metodología propuesta por el centro panamericano de ingeniería sanitaria y ambiental (CEPIS) en el 2004. A continuación, se definen los componentes del sistema de captación de agua lluvia (CEPIS, 2004).

4.1 Componentes del sistema de captación de agua lluvia.

4.1.1 Captación.

Es la superficie usada para la recolección de agua lluvia.

4.1.2 Recolección y conducción.

Son los elementos usados para conducir el agua recolectada hasta un sitio deseado.

Usualmente se hace el uso de canaletas en los bordes del techo para realizar este proceso.

4.1.3 Interceptor.

El interceptor es el dispositivo encargado de captar las primeras aguas lluvias correspondientes al lavado del área de captación, su función es evitar el almacenamiento de agua con gran cantidad de impurezas. Para tal fin se puede usar un filtro que impida el paso de partículas de gran tamaño al tanque de almacenamiento y sistema de distribución.

4.1.4 Almacenamiento.

Corresponde al recipiente destinado para depositar el agua recolectada hasta el momento que se requiera su uso. En el sitio de almacenamiento debe contar con las siguientes características:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración.
- De no más de 2m de altura para minimizar las sobrepresiones.
- Con tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar.

- Disponer de una escotilla con tapa lo suficientemente grande para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias.
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje.

4.1.5 Red de Distribución de Agua Lluvia y Sistema de Bombeo.

Es el mecanismo usado para transferir el agua desde el sitio de almacenamiento hacia los puntos donde se le dará uso.

Dependiendo del uso final que se le dé al recurso puede ser necesario o no incluir dentro del sistema un proceso de tratamiento previo al uso del mismo. Se recomienda realizar una caracterización del agua para identificar sus posibles usos.

5. Metodología.

Con base a la revisión bibliográfica citada incluidos los parámetros establecidos por el CEPIS, y la propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia realizada por Palacio (2010), además de la información proporcionada por los coordinadores de las diferentes áreas de la empresa, el equipo de mantenimiento de la organización y consultores externos, se determinaron las características y requerimientos necesarios para el diseño del sistema de captación de aguas lluvias.

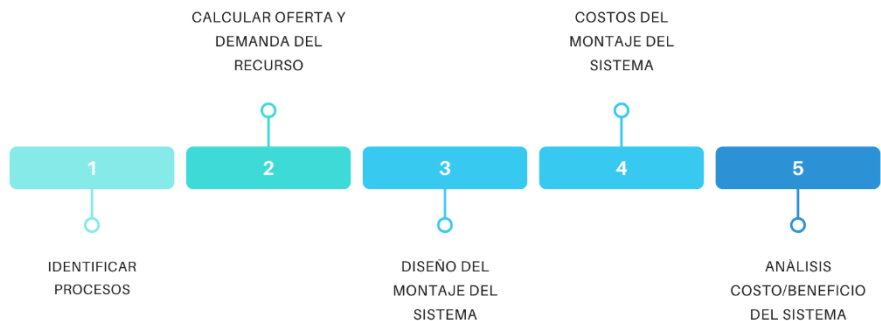


Figura 1. Esquema del procedimiento realizado para la elaboración del proyecto.

6. Resultados

6.1 Identificación de los procesos que requieren agua dentro de la empresa

Inicialmente se identificaron las principales actividades o procesos dentro de la empresa que demandan la mayor cantidad de agua, los cuales se presentan a continuación:

- **Caldera:** La organización cuenta con una caldera pirotubular cuyo fin es generar vapor de agua y suministrar calor al área de tintorería. De acuerdo con la investigación realizada, el sistema de captación podría suministrar agua lluvia a la caldera ya que en este proceso no se requiere agua potable para su correcto funcionamiento.
- **Tintorería:** Es el área donde se realiza el proceso de teñido de los elásticos. El agua toma gran relevancia en este proceso ya que se requiere como producto base en la mezcla de colorantes y es usada para el posterior lavado de los elásticos y máquinas de tintorería. Siendo así, la captación de agua lluvia podría disminuir el porcentaje de agua usada suministrada por EPM.

- Nota: Aunque la revisión bibliográfica respalda la hipótesis de usar agua lluvia en procesos textiles (Aristizabal & Correa, 2015). Se recomienda realizar una caracterización del agua lluvia con el fin de evaluar sus condiciones de uso.
- **Aseo:** La organización cuenta con 130 empleados aproximadamente y opera las 24 horas de lunes a viernes. Teniendo en cuenta lo anterior, el uso de servicios sanitarios es frecuente a lo largo de la jornada, permitiendo la implementación del sistema de recolección de aguas lluvias para este fin ya que no se requiere agua potable para la descarga de los sanitarios.

6.2 Diseño del sistema de recolección de aguas lluvias.

Para realizar el diseño del sistema de captación se efectuó el cálculo de la demanda de agua de los diferentes procesos identificados en la operación de la planta. Posteriormente se analizaron datos de precipitación de la zona y se identificó el área disponible para la captación del recurso con el fin de determinar la oferta de agua lluvia. Finalmente, se diseñó la configuración del sistema teniendo en cuenta el proceso que permita el agua lluvia como sustituto al agua potable, que disponga de un espacio considerable para ubicar el tanque de almacenamiento y facilite la conducción del agua recolectada hasta su ubicación.

6.2.1 Demanda de agua mensual.

La demanda de agua mensual hace referencia a la cantidad de agua que se requiere mensualmente para que un proceso pueda llevarse a cabo. La demanda de agua mensual se realizó de manera independiente para cada uno de los procesos identificados en la empresa (sección 6.1).

- **Caldera.**

Los datos relacionados a la demanda de agua proveniente de la caldera fueron obtenidos gracias a la información suministrada por el panel de control de la caldera y la asesoría del ingeniero contratado por la empresa para realizar las capacitaciones y mantenimientos de este equipo. El panel realiza el cálculo del consumo de agua relacionando la cantidad de carbón necesario para producir una cantidad específica de vapor (valor teórico). Para el cálculo del consumo real de agua necesario para el funcionamiento de la caldera se tiene en cuenta la relación que existe entre consumo de carbón teórico (eficiencia del 100% según especificaciones de la caldera) y el consumo real de carbón, el cual se considera constante ya que la caldera opera generalmente de manera continua con una tasa de generación de vapor constante. Esta relación permite conocer la eficiencia real a la cuál opera la caldera y finalmente se multiplica esta eficiencia con el vapor teórico producido (eficiencia del 100% según especificaciones de la caldera). A continuación, se presentan los valores teóricos y reales relacionados al consumo de carbón, vapor y agua.

Tabla 1. Demanda de agua relacionada a la caldera.

CONSUMO DE CARBÓN TEÓRICO (Kg/h)	CONSUMO DE CARBÓN REAL (Kg/h)	VAPOR PRODUCIDOO TEÓRICO (Lb/h)	VAPOR PRODUCIDOO REAL (Lb/h)	AGUA PRODUCIDA REAL (m³/mes)
339	116	6400	2181	617

- **Tintorería.**

El consumo de agua en el proceso de tintorería se hizo mediante el método volumétrico ubicando un recipiente de 1 galón en la canaleta de descarga común para las máquinas de teñido y midiendo su tiempo de llenado.

Este procedimiento consistió en realizar mediciones en 6 días diferentes en los cuales las máquinas efectuaban una fase distinta dentro del proceso. Adicionalmente, se llevó a cabo 3 mediciones diferentes en cada uno de estos días promediando el resultado. Para identificar la fase en la que se encontraba cada máquina durante las mediciones se seleccionó la siguiente nomenclatura:

M: La máquina se encontraba en la fase de preparación de color.

F: La máquina se encontraba realizando el teñido de las cintas.

P: La máquina se encontraba parada.

De esta manera si 2 máquinas se encuentran preparando color, 3 en proceso de teñido y 1 máquina parada; se denota como “2M 3F 1P” en la columna “CONDICIÓN” de la siguiente tabla.

Tabla 2. Demanda de agua relacionada al área de tintorería.

CONDICIÓN	CAUDAL PROMEDIO		
	gal/s	L/s	m ³ / mes
4F 2M	0.08	0.29	657.15
5F 1P	0.08	0.29	660.21
3M 1P 2F	0.08	0.29	644.21
3M 3F	0.08	0.30	680.28
1P 4F 1M	0.08	0.29	646.66
3F 2M 1P	0.11	0.40	905.60
PROMEDIO	0.08	0.31	699.02

La tabla 2 demuestra que incluso cuando se opera el área de tintorería en diferentes fases, el consumo agua no varía mucho entre sí. De esta manera se decide usar su promedio como un consumo constante durante los diferentes meses.

- **Aseo.**

Para estimar la demanda de agua en el área del aseo se tuvo en cuenta el promedio de veces que cada persona hace uso del servicio sanitario durante el turno laboral dentro de la empresa y el consumo que genera la descarga del sanitario. Así mismo, se tuvo en cuenta la cantidad de empleados (130) y la cantidad de días laborados al mes (26) para obtener el consumo mensual.

Los servicios sanitarios de la empresa constan de 3 sanitarios ahorradores de agua (6 L por descarga) y 4 sanitarios convencionales (10 L por descarga). De esta manera, a fin de simplificar los cálculos se promedió la cantidad de agua usada en la descarga de los sanitarios.

A continuación, se presenta la tabla con los cálculos realizados.

Tabla 3. Demanda de agua relacionada al área de aseo.

DEMANDA DE AGUA EN EL ÁREA DE ASEO				
NÚMERO DE DESCARGAS POR PERSONA AL DÍA	CONSUMO DE AGUA POR DESCARGA (L)	NÚMERO DE EMPLEADOS	DÍAS LABORADOS AL MES	DEMANDA MENSUAL (m ³ /mes)
2	8	130	26	54.08

6.2.2. Oferta de agua.

La oferta de agua hace referencia a la cantidad aproximada de agua disponible a ser recolectada.

De acuerdo con la metodología aplicada (Castañeda, 2010), se define la oferta de agua en el mes *i* con la siguiente ecuación:

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

Ecuación 1. Ecuación para determinar la oferta de agua.

donde:

A_i: oferta de agua en el mes "i" (m³)

Ppi: precipitación promedio mensual (L/m²)

Ce: coeficiente de escorrentía

Ac: área de captación (m²)

- **Precipitación promedio mensual.**

La precipitación promedio mensual es la cantidad de agua lluvia promedio que se presenta alrededor del área de la empresa en un mes determinado.

Para determinar la cantidad de agua disponible aproximada se usó como fuente de información la revista meteorológica de Empresas Públicas de Medellín (Empresas Públicas de Medellín, 2005). Se decidió usar esta fuente de información debido a la alta confiabilidad de los datos suministrados por EPM y a que el historial de las mediciones supera los 15 años como se recomienda en la metodología usada.

Con el fin de establecer los datos de precipitación más representativos de la zona se tomaron las tres estaciones de monitoreo más cercanas a la organización. Luego, empleando el software Arcgis y con un modelo de elevación digital (DEM) obtenido de Ipdacc (Buckley, 2020), fue posible identificar mediante el uso de polígonos de Thiessen la estación que presenta mayor influencia en el área de estudio (Sánchez, 2017). Para este caso, la estación resultante de la metodología aplicada corresponde a la estación Ayurá ubicada en el sector de Envigado a - 75.56469783, 6.16605057 (Sistema coordinado GCS_WGS_1984) (ver figura 2). Los datos de precipitación promedio de la estación Ayurá se presentan en la Figura 3.

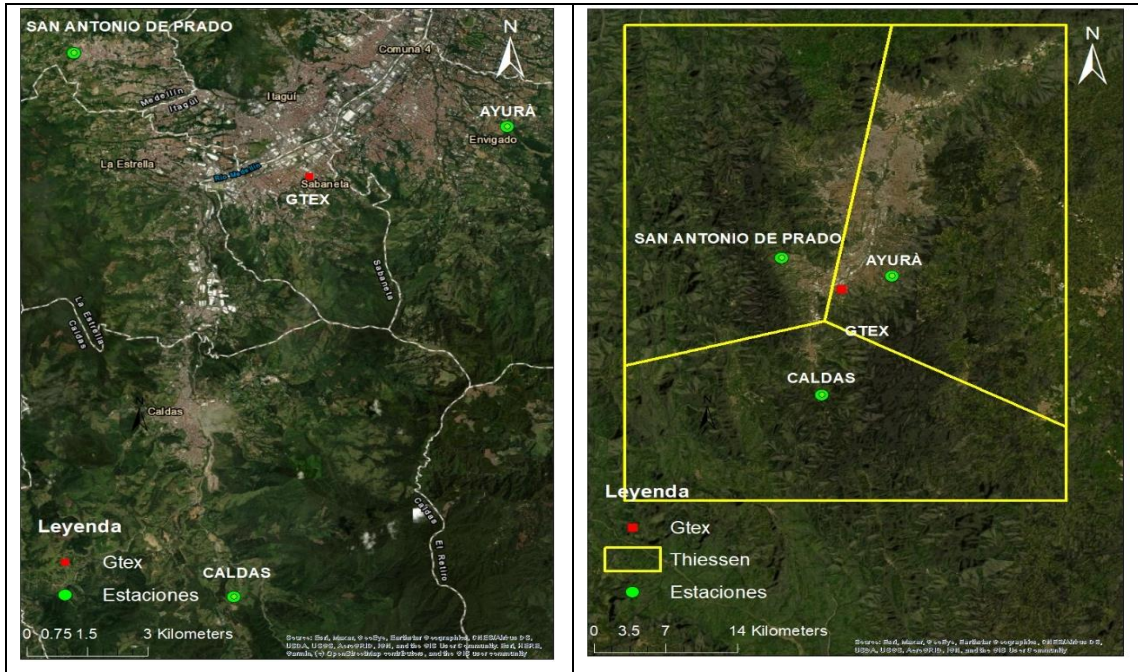


Figura 2. A. Ubicación espacial de estaciones de monitoreo y de la empresa B. Aplicación del método de polígonos de Thiessen para selección de estación meteorológica.

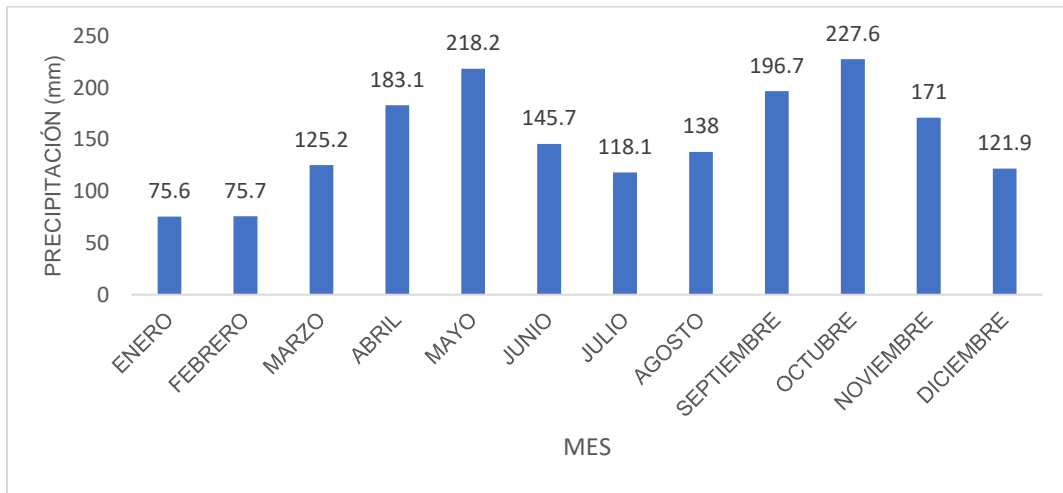


Figura 3. Precipitación promedio mensual (mm).

- **Área de captación.**

El área de captación es la zona espacial destinada para obtener el agua lluvia.

Para determinar el área de captación se usaron los planos suministrados por la organización y por medio del software Autocad se realizaron los diagramas y

mediciones necesarias para obtener la posible área de captación. Además, se tuvo en cuenta factores como la ubicación de los equipos, distribución de canaletas, ubicación de tejados y puntos de descarga de agua lluvia.

Inicialmente, las áreas de captación se dividieron de acuerdo con el subsistema al cual se pretendía abastecer, tal como se muestra en la figura 4. Las áreas de captación para tintorería, caldera y aseo fueron de 578 m², 992 m², 547 m², respectivamente, encontrando un área total de captación de 2117 m².

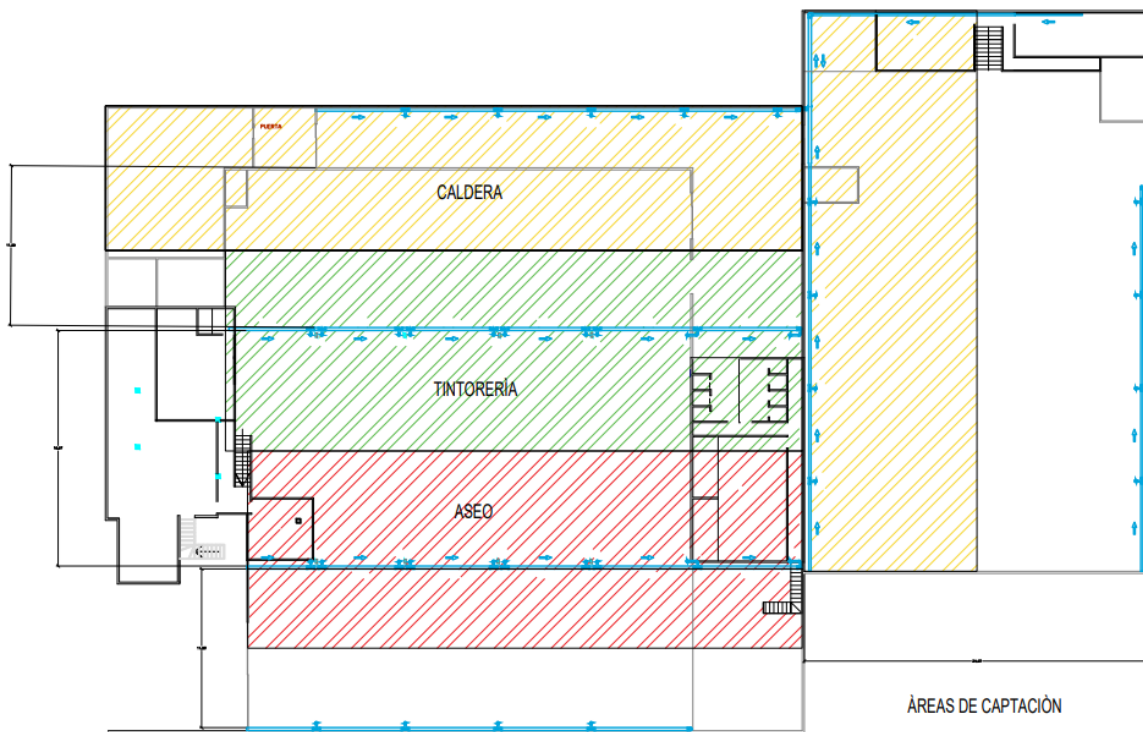


Figura 4. Áreas de captación relacionada a los diferentes procesos.

- **Coefficiente de escorrentía.**

Teniendo en cuenta que el sistema de captación aplicado capta el agua usando el tejado de la empresa, se tomó el coeficiente de escorrentía como 0.75 ya que este es comúnmente usado para superficies de techo (Chow et al., 1994).

Con los datos recopilados de precipitación, área de captación y coeficiente de escorrentía, se calculó la oferta hídrica mensual aproximada de acuerdo con la ecuación 1. También se determinó la relación entre la oferta de agua y la demanda para cada uno de los procesos como se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Relación entre la oferta y la demanda para cada uno de los procesos.

MES	OFERTA DE AGUA MENSUAL (m ³)			RELACIÓN DE OFERTA Y DEMANDA MENSUAL (%)		
	TINTORERÍA	CALDERA	ASEO	TINTORERÍA	CALDERA	ASEO
ENERO	32.8	56.3	32.8	4.8	9.1	58.3
FEBRERO	32.9	56.3	32.9	4.8	9.1	58.4
MARZO	54.3	93.2	54.3	7.9	15.1	96.6
ABRIL	79.5	136.3	79.5	11.5	22.1	141.3
MAYO	94.7	162.4	94.7	13.7	26.3	168.3
JUNIO	63.2	108.4	63.2	9.2	17.6	112.4
JULIO	51.3	87.9	51.3	7.4	14.2	91.1
AGOSTO	59.9	102.7	59.9	8.7	16.6	106.5
SEPTIEMBRE	85.4	146.4	85.4	12.4	23.7	151.8
OCTUBRE	98.8	169.4	98.8	14.3	27.5	175.6
NOVIEMBRE	74.2	127.3	74.2	10.8	20.6	131.9
DICIEMBRE	52.9	90.7	52.9	7.7	14.7	94.0

La tabla 4 revela que, a excepción del área de aseo, la oferta de agua no supe una cantidad significativa de la demanda para los procesos de tintorería y caldera de manera individual ya que en general no supera el 25% del agua necesaria en dichas áreas.

6.2.3 Configuración del sistema de captación de agua lluvia.

Teniendo en cuenta la oferta de agua disponible para cada área y compararla con su respectiva demanda, se decidió usar la oferta de agua lluvia total solo en el proceso relacionado a la caldera. Se tomó este proceso ya que es el área donde se

presenta mayor espacio para la ubicación del tanque de almacenamiento, la facilidad en redirigir el agua lluvia dada la distribución de canaletas y bajantes del tejado y por ser un proceso donde se puede usar el agua lluvia como recurso sustituto al agua potable ya que no requiere tratamiento previo a su uso.

Para conocer cuánto de la demanda mensual podría ser abastecido por la oferta de agua disponible se realizó un análisis mensual con los datos disponibles (ver tabla 5).

Tabla 5. Relación entre la oferta y demanda mensual en el área de la caldera y porcentaje de abasto del área producido por el sistema de recolección de agua lluvia.

RELACIÓN DE OFERTA Y DEMANDA MENSUAL EN LA CALDERA			
MES	OFERTA (m ³)	DEMANDA (m ³)	ABASTO (%)
ENERO	121.9	617	19.8
FEBRERO	122	617	19.8
MARZO	201.8	617	32.7
ABRIL	295.2	617	47.8
MAYO	351.8	617	57
JUNIO	234.9	617	38.1
JULIO	190.4	617	30.9
AGOSTO	222.5	617	36.1
SEPTIEMBRE	317.1	617	51.4
OCTUBRE	366.9	617	59.5
NOVIEMBRE	275.7	617	44.7
DICIEMBRE	196.5	617	31.9
PROMEDIO	241.4	617	39.8

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 5 es posible abastecer en promedio al mes 241.4 m³ de agua, es decir, el 39.8 % del agua necesaria para la operación de la caldera. Así mismo, la información revela que los meses con menor y mayor tasa de abasto son enero y octubre, respectivamente. Teniendo para

el mes de enero un abasto del 20 % aproximadamente y para el mes de octubre un abasto del 60 % aproximadamente.

- **Dimensiones del tanque de recolección.**

Para determinar las dimensiones y el volumen del tanque de almacenamiento, se realizó el análisis de datos diarios de precipitación durante el periodo 2016 - 2020 obtenidos del Sistema de Alerta temprana del Valle de Aburrá (SIATA, s.f.) y recopilados por la estación pluviométrica “Universidad CES” ubicada en Sabaneta. Se emplearon los datos provenientes de esta estación ya que es la estación más cercana al sitio de estudio y a su vez proporciona mayor número de datos en el rango de tiempo seleccionado.

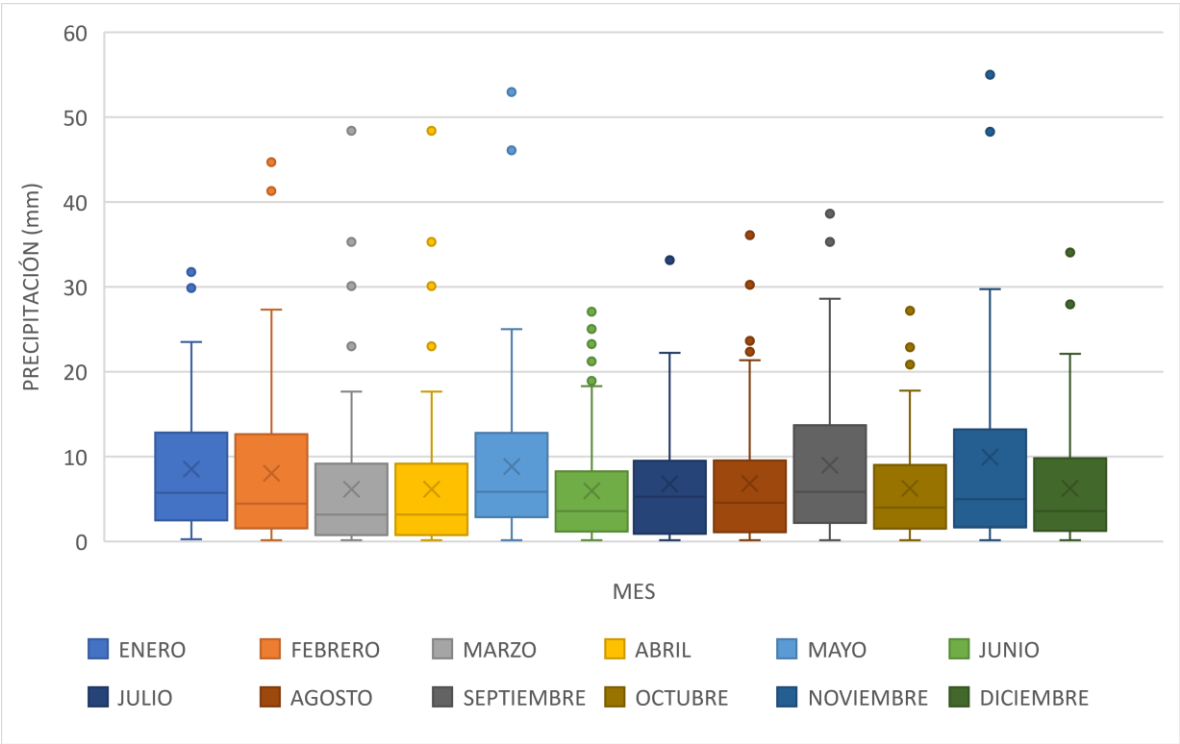


Figura 5. Precipitación diaria mensual desde el año 2016 a 2020.

En la figura 5, la cual muestra las precipitaciones diarias mensuales para el periodo de 2016 a 2020 de cada uno de los meses, se identifica que los valores máximos se presentan entre 40 y 50 mm, mientras que para el mes de noviembre manifiesta mayor precipitación diaria en comparación a los demás meses. Es importante aclarar que en la figura 5 no se tuvo en cuenta valores iguales a “0” para facilitar la comprensión del gráfico.

A fin de establecer el volumen máximo de agua disponible en un día para cada uno de los meses, se promediaron los valores de precipitación que superen el percentil 90 para cada uno de los meses en los diferentes años del periodo elegido. Posteriormente, se realiza el promedio de los resultados obtenidos en cada año para su mes correspondiente, teniendo en cuenta solo los valores mayores a cero. Finalmente, se multiplica el valor promedio de precipitación de cada mes por el valor total del área disponible (2117 m²) para la captación de agua lluvia.

A continuación, se presenta la tabla 6 con los cálculos realizados.

Tabla 6. Oferta máxima diaria para cada uno de los meses en el periodo (2016-2020).

OFERTA MÁXIMA DIARIA DE AGUA LLUVIA							
MES	2016 (mm)	2017 (mm)	2018 (mm)	2019 (mm)	2020 (mm)	PROMEDIO (mm)	OFERTA MÁXIMA DIARIA (m ³)
ENERO	16.04	19.34	21.34	0	8.57	16.32	34.58
FEBRERO	10.67	14.05	16.34	37.76	15.07	18.78	39.78
MARZO	22.8	21.8	14.14	19.05	13.81	18.32	38.81
ABRIL	22.82	17.74	23.28	32.43	12.53	21.76	46.09
MAYO	30.44	6.29	30.01	21.69	10.54	19.79	41.93
JUNIO	19.81	15.96	0	19.73	15.41	17.73	37.55
JULIO	0	8.3	0	15.58	25.27	16.38	34.71
AGOSTO	21.93	22.65	0	7.15	19.69	17.85	37.82
SEPTIEMBRE	25.36	21.29	0	22.65	27.43	24.18	51.22
OCTUBRE	17.96	21.97	0	14.14	17.56	17.91	37.93

NOVIEMBRE	32.85	36.96	0	20.96	36.11	31.72	67.19
DICIEMBRE	25.65	14.77	7.45	16.47	8.13	14.49	30.71
PROMEDIO	20.53	18.43	9.38	18.97	17.51	19.60	41.53

La tabla anterior nos revela que el promedio de la oferta máxima diaria es de 41.53 m³ aproximadamente, cuyos valores máximos se alcanzan en los meses de abril, mayo, septiembre y noviembre. Mientras que los valores mínimos se presentan en los meses de enero, julio y diciembre. Es importante aclarar que en el período junio – noviembre del año 2018 la estación estaba fuera de operación y por ello las mediciones relacionadas a estos meses si bien se expresan como “0” no se tuvieron en cuenta para los cálculos realizados. De esta manera se decidió emplear un tanque de almacenamiento de 40 m³ aproximadamente, cuyas medidas son 4 m de largo, 3 metros de profundidad y 3.4 metros de altura.

- **Distribución de tuberías y ubicación del tanque para el sistema de captación propuesto.**

La distribución de tuberías para el drenaje del agua lluvia dispuesto en la empresa se dispuso de manera tal que toda el agua lluvia fuera dirigida hacia un bajante ubicado en el área de la caldera el cual cae directamente a la quebrada (ver figura 6). Se incluye en este bajante una T y dos válvulas que permiten desviar el agua del bajante hacia el tanque de recolección y que a su vez sirva de aliviadero en caso de superar la capacidad máxima de almacenamiento del tanque.

A fin de evitar que partículas de gran tamaño ingresen en el tanque de almacenamiento y puedan generar afectaciones al sistema, se adicionan dos filtros de malla en la tubería que conduce el agua hacia el tanque de almacenamiento.

Finalmente, se propone implementar una bomba sumergible que suministre el agua desde el tanque de almacenamiento hasta el sistema de la caldera (ver figura 7).

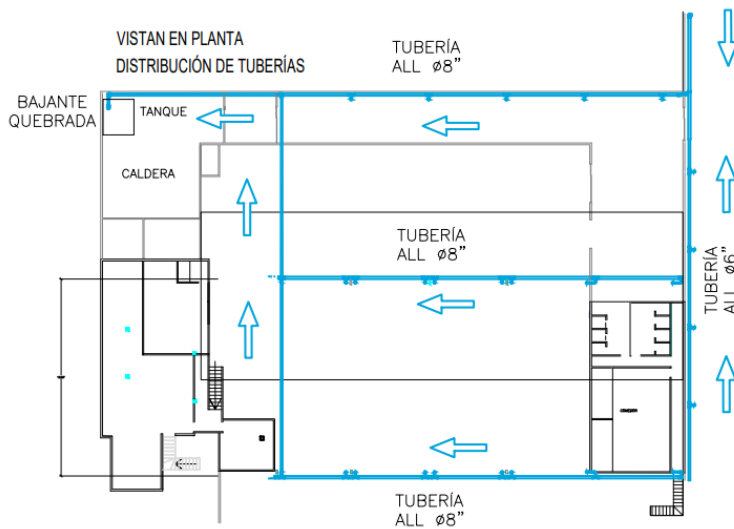


Figura 6. Distribución de las tuberías para conducir el agua lluvia.

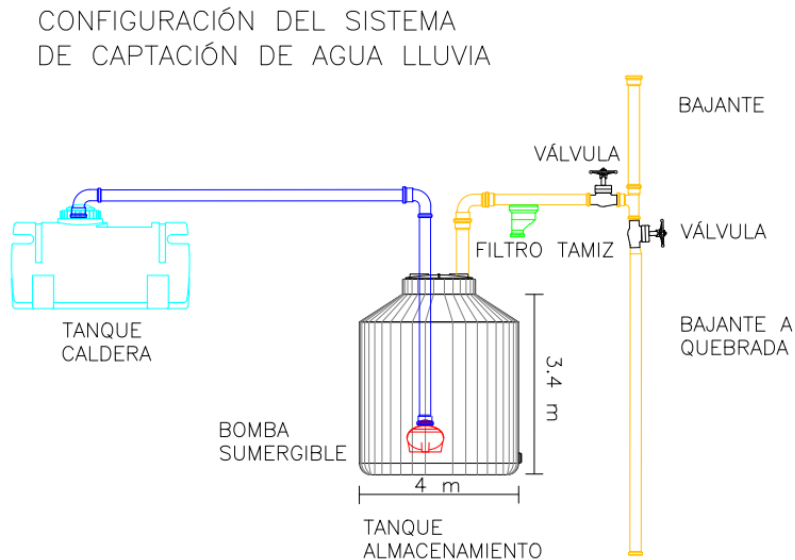


Figura 7. Sistema usado para implementar el agua captada al proceso de la caldera.

El área disponible para el montaje del tanque de recolección cuenta con 4 metros de ancho, 3 metros de profundidad y una altura de 5 metros; teniendo como resultado un volumen de almacenamiento máximo de 60 m³ aproximadamente. A continuación, se muestra una fotografía del sitio disponible para el montaje del tanque de almacenamiento.



Figura 8. Espacio disponible para la ubicación del tanque de almacenamiento del sistema.

7. Análisis costo-beneficio del sistema de recolección de aguas lluvias propuesto.

Para determinar si el sistema de recolección de agua lluvia propuesto es rentable se realizó un análisis de costo – beneficio que este presenta. Para tal fin se usó el margen de utilidad operativa para obtener los costos operativos y analizar si las ganancias son lo suficientemente adecuadas para el desarrollo del proyecto (Gitman, 2003).

$$\text{Margen de utilidad operativa} = \frac{\text{Utilidad operativa}}{\text{Ventas}} * 100$$

Ecuación 2. Margen de utilidad operativa.

donde;

Utilidad operativa: Diferencia entre los ingresos generados y los egresos utilizados dentro del proyecto.

Ventas: Ingresos generados dentro del proyecto.

Adicionalmente, se calcula la Tasa Interna de Retorno (TIR) donde se analiza la viabilidad financiera del proyecto ya que en esta se observa la máxima rentabilidad que se puede obtener (Ponce Cedeño et al., 2019). Para el cálculo de la TIR se usó la función "TIR" en el software Excel para el cual es necesario ingresar el valor de la inversión en negativo y el resultado de la diferencia entre los ingresos y egresos para cada periodo del proyecto.

Para determinar los flujos de caja y la inversión inicial se consultaron los valores asociados al consumo de agua presentados en la factura de servicios públicos durante el periodo agosto 2021 – enero 2022. Estos datos se promediaron para identificar el costo promedio mensual relacionado al uso de agua proveniente de EPM (ver tabla 7).

Tabla 7. Consumo de agua mensual debido a la operación de la planta de producción.

CONSUMO DE AGUA MENSUAL				
MES	CONSUMO (m ³)	VALOR A PAGAR ACUEDUCTO (\$)	VALOR A PAGAR ALCANTARILLADO (\$)	VALOR TOTAL A PAGAR (\$)
AGOSTO	1,415	6,319,203	5,275,314	11,594,517
SEPTIEMBRE	1,116	5,261,810	4,268,314	9,530,124
OCTUBRE	1,362	6,405,302	5,196,626	11,601,928
NOVIEMBRE	1,377	6,474,932	5,253,154	11,728,086
DICIEMBRE	1,501	7,408,686	5,905,617	13,314,303
ENERO	1,477	7,119,092	5,810,106	12,929,198
PROMEDIO	1,375	6,498,171	5,284,855	11,783,026

Teniendo los datos del costo y consumo mensual relacionados al acueducto, realizamos la división entre estos para identificar el costo de \$4725/m³. Finalmente se multiplica el costo por la cantidad de m³ aportados por el sistema de recolección para identificar el aporte de este en términos monetarios (1,141,048\$). Así mismo determinamos el aporte del sistema para el alcantarillado, pero considerando un valor por \$3,843/m³ (ver tabla 8).

Tabla 8. Relación de consumos y valores antes y después de usar el sistema de recolección de aguas lluvias.

CONSUMO (m ³) Y VALOR (\$) DE AGUA MENSUAL				
	CONSUMO (m ³)	VALOR A PAGAR ACUEDUCTO (\$)	VALOR A PAGAR ALCANTARILLADO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
SIN SISTEMA DE RECOLECCIÓN	1,375	6,498,171	5,284,855	11,783,026
APORTE DE SISTEMA DE RECOLECCIÓN	241	1,141,084	928,025	2,069,108
CON SISTEMA DE RECOLECCIÓN	1,133	5,357,087	4,356,831	9,713,918

Posteriormente se promedia el incremento porcentual en la tarifa de agua y alcantarillado correspondiente al municipio de Sabaneta durante el periodo 2010 – 2022 a fin de estimar el costo representativo de esta en los próximos años y así evaluar el beneficio monetario que representa anualmente la implementación del sistema.

Tabla 9. Incremento porcentual anual del costo del metro cúbico de agua potable.

AÑO	ACUEDUCTO		ALCANTARILLADO	
	COSTO (\$/m ³)	INCREMENTO (%)	COSTO (\$/m ³)	INCREMENTO (%)
2022	4,886	19.6	3,896	11.3
2021	4,086	9.5	3,500	5.2
2020	3,730	10.1	3,328	22
2019	3,387	32.7	2,727	6.5
2018	2,552	3.2	2,560	3.4
2017	2,471	41.9	2,475	-7.1
2016	1,742	6.7	2,663	6.7
2015	1,633	3.6	2,497	3.6
2014	1,576	0	2,410	0.1
2013	1,576	3.1	2,407	3
2012	1,528	3.2	2,337	3.3
2011	1,480	3	2,262	2.9
2010	1,437	0	2,198	0
PROMEDIO	2,468	11.4	2,712	5.1

Para calcular el beneficio anual de la implementación del sistema de recolección se multiplica el costo de metro cúbico (proyectado utilizando el incremento promedio anual) por la cantidad de agua que el sistema de recolección proporciona.

A continuación, se presentan el beneficio de la implementación del sistema de recolección durante los próximos 20 años teniendo en cuenta el incremento proyectado en la tarifa de agua.

Tabla 10. Beneficio monetario anual derivado de la implementación del sistema de captación de agua lluvia.

AÑO	COSTO ACUEDUCTO(\$/m ³)	BENEFICIO MONETARIO ANUAL PROYECTADO ACUEDUCTO (\$)	COSTO ALCANTARILLADO (\$/m ³)	BENEFICIO MONETARIO ANUAL PROYECTADO ALCANTARILLADO (\$)	BENEFICIO MONETARIO TOTAL ANUAL (\$)
2023	5,443	15,767,260	4,095	11,860,675	27,627,936
2024	6,064	17,564,913	4,303	12,464,115	30,029,028
2025	6,755	19,567,519	4,522	13,098,255	32,665,774
2026	7,525	21,798,446	4,752	13,764,659	35,563,105
2027	8,383	24,283,724	4,994	14,464,968	38,748,692
2028	9,339	27,052,353	5,248	15,200,906	42,253,260
2029	10,404	30,136,639	5,515	15,974,287	46,110,926
2030	11,590	33,572,569	5,795	16,787,016	50,359,585
2031	12,911	37,400,236	6,090	17,641,094	55,041,330
2032	14,383	41,664,301	6,400	18,538,625	60,202,926
2033	16,023	46,414,520	6,725	19,481,820	65,896,340
2034	17,850	51,706,319	7,068	20,473,003	72,179,322
2035	19,885	57,601,446	7,427	21,514,614	79,116,060
2036	22,152	64,168,686	7,805	22,609,220	86,777,906
2037	24,678	71,484,669	8,202	23,759,516	95,244,185
2038	27,491	79,634,759	8,620	24,968,336	104,603,095
2039	30,626	88,714,056	9,058	26,238,657	114,952,713
2040	34,117	98,828,498	9,519	27,573,609	126,402,108
2041	38,007	110,096,106	10,003	28,976,480	139,072,586
2042	42,341	122,648,353	10,512	30,450,725	153,099,078
2043	47,168	136,631,703	11,047	31,999,976	168,631,679

Para evaluar la inversión del proyecto se cotizó el costo de materiales y artículos necesarios para el montaje del sistema de captación de agua lluvia (ver tabla 11).

Tabla 11. Costos relacionados al montaje del sistema de captación de agua lluvia.

COSTOS PARA EL MONTAJE DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA			
ELEMENTO	COSTO/UNIDAD (\$)	UNIDADES	COSTO TOTAL/ELEMENTO (\$)
REDUCTOR DE 6" X 4" PVC	92,539	1	92,539
TEE 4" X 4"	18,590	1	18,590
VÁLVULA DE BOLA LISA 4"	124,400	2	248,800
TUBO 4" PVC (METRO)	22,150	10	221,500
CODO 4" 90° PVC	14,390	1	14,390
ADHESIVO PVC	30,990	1	30,990
BOMBA SUMERGIBLE 0.67HP Humboldt	263,900	1	263,900
FILTRO MALLA EN "Y" 4 "	120,000	2	240,000
TANQUE DE ALMACENAMIENTO (CAPACIDAD)	44,000,000	1	44,000,000
TOTAL			45,130,709

Para determinar los egresos del proyecto se tuvo en cuenta el costo del mantenimiento anual del sistema equivalente a \$ 1´400.000, este valor se determinó gracias a la asesoría del área de mantenimiento de la empresa, Asimismo, se asume un incremento del 5% anual para este fin. También se incluye el costo de energía mensual necesario para el uso de la bomba sumergible, teniendo en cuenta que su consumo es de 0.5 Kw/h por día. En este cálculo se tuvo en cuenta el promedio del incremento porcentual anual de los últimos 12 años.

Tabla 12. Incremento porcentual anual del costo del Kw/h.

AÑO	COSTO Kw/h (\$)	PORCENTAJE DE INCREMENTO (%)
2022	562.3	3.7
2021	542.5	-6.2
2020	578.5	3.6
2019	558.4	7.6
2018	518.7	4.8
2017	495.0	0.8
2016	490.9	12.4
2015	436.8	4.1

2014	419.7	3.5
2013	405.6	2.1
2012	397.2	7.2
2011	370.4	22.9
2010	301.5	0.0
INCREMENTO PROMEDIO (%)		5.5

A continuación, se presenta el flujo de caja del proyecto para cada período, teniendo en cuenta que cada periodo hace referencia a un año.

Tabla 13. Flujo de caja para el sistema de recolección de agua lluvia.

PERIODOS	INVERSIÓN (\$)	INGRESOS (\$)	EGRESOS (\$)	FCL (\$)
0	45,130,709	0	0	-45,130,709
1	0	27,627,936	1,892,570	25,735,366
2	0	30,029,028	1,987,695	28,041,332
3	0	32,665,774	2,087,605	30,578,169
4	0	35,563,105	2,192,539	33,370,565
5	0	38,748,692	2,302,751	36,445,941
6	0	42,253,260	2,418,506	39,834,754
7	0	46,110,926	2,540,082	43,570,844
8	0	50,359,585	2,667,774	47,691,811
9	0	55,041,330	2,801,888	52,239,442
10	0	60,202,926	2,942,748	57,260,178
11	0	65,896,340	3,090,693	62,805,647
12	0	72,179,322	3,246,081	68,933,242
13	0	79,116,060	3,409,285	75,706,776
14	0	86,777,906	3,580,699	83,197,207
15	0	95,244,185	3,760,736	91,483,449
16	0	104,603,095	3,949,831	100,653,265
17	0	114,952,713	4,148,438	110,804,275
18	0	126,402,108	4,357,039	122,045,069
19	0	139,072,586	4,576,134	134,496,452
20	0	153,099,078	4,806,253	148,292,825
TOTAL	45,130,709	1,455,945,955	62,759,347	1,348,055,900

En la tabla 13 se evidencia que a excepción del periodo “0” el proyecto podría generar ganancias importantes ya que los ingresos anuales de cada periodo supera con creces a los egresos relacionados a su implementación. Además, la información presentada permite calcular el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial como se muestra gráficamente a continuación.

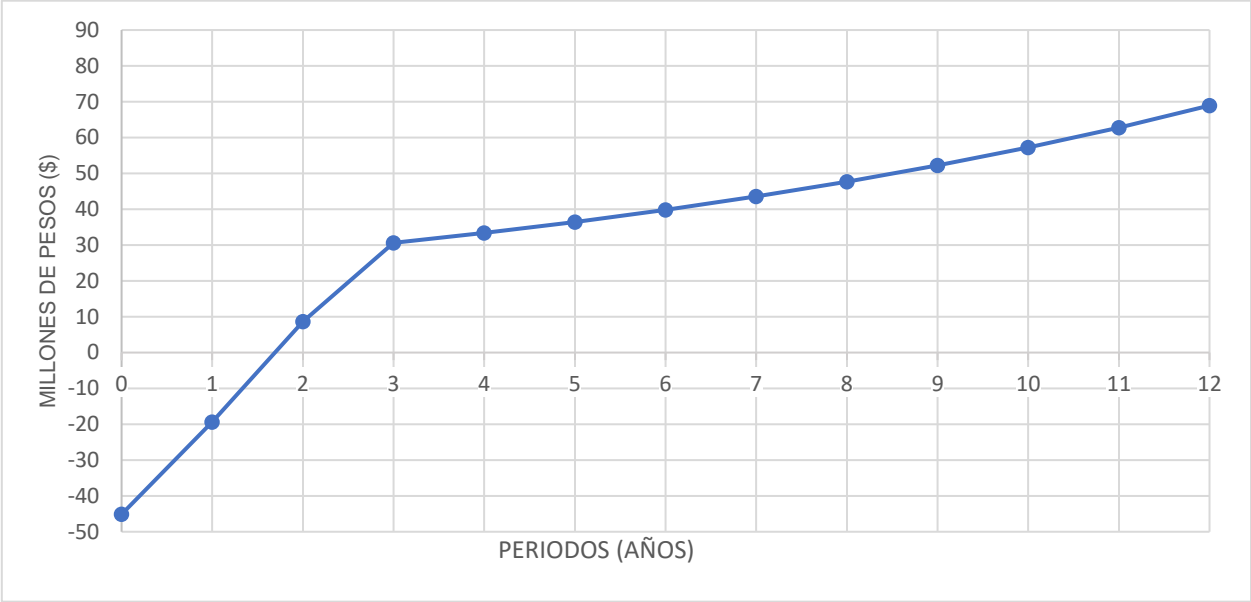


Figura 9. Proyección de retorno de la inversión del proyecto.

En la figura 9 se puede observar que el proyecto recupera la inversión inicial en el período 2, es decir que a partir del segundo año el proyecto generará ingresos a la empresa. Así mismo, se puede observar la tendencia de dichos ingresos a través del tiempo.

Con los datos recopilados en la tabla 13 se calcula los ingresos y egresos totales resultantes de la suma de todos los periodos. Luego, se realiza la diferencia entre los ingresos y egresos totales a fin de conocer la utilidad bruta generada por el proyecto al cabo de 20 años.

Con el objetivo de conocer el margen de utilidad operativa y la Tasa Interna de Retorno del proyecto se usó la (ecuación 2) y la función “TIR” en Excel respectivamente

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de este proceso:

Tabla 14. Utilidad bruta, utilidad operativa y Tasa Interna de Retorno del proyecto

INGRESOS (\$)	1,455,945,955
EGRESOS (\$)	62,759,347
UTILIDAD (\$)	1,393,186,608
MARGEN DE UTILIDAD OPERATIVA (%)	95.69
TIR (%)	66.13

Los resultados evidencian que la viabilidad del proyecto es adecuada, dado que se tiene una TIR del 66,13%, lo que indica que por cada 100 pesos invertidos se obtendrá una ganancia de 66 pesos aproximadamente. Adicionalmente, la información revela que el proyecto es rentable ya que los ingresos superan con creces los egresos obteniendo una rentabilidad del 96 % aproximadamente.

Otro beneficio que se encontró al implementar el sistema de captación de agua lluvia es el ahorro de agua potable ya que el volumen recolectado anualmente es de aproximadamente 2892 m³, lo que representa la dotación neta máxima de 61 personas en el mismo periodo, teniendo en cuenta que para el sitio de estudio se considera que la dotación neta máxima por habitante/día es de 130 L (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017).

También es importante destacar que la recolección de agua lluvia reduce el impacto sobre los cuerpos de agua ya que disminuye la cantidad del recurso que se extrae de estos para suplir la demanda y es que subcuencas como La Romera, El Gusano, La Escuela, La Honda, La sabaneta, entre otras; se declararon agotadas

en diferentes tramos de su extensión, subcuencas que abastecen al municipio de Sabaneta (Municipio de Sabaneta & Corantioquia, 2018).

Conclusiones.

La información recopilada referente a las actividades que se llevan a cabo dentro de la empresa Textiles Guarne S.A.S, datos obtenidos de estudios similares y asesoramiento externo, permitieron concluir que los procesos donde se puede usar agua lluvia como sustituto al agua potable son las áreas de tintorería, caldera y aseo.

Después de identificar los procesos donde se puede hacer uso del agua lluvia como sustituto al agua potable, analizar la oferta de agua lluvia, el área disponible de captación y montaje, y la distribución de canaletas de descarga, fue posible diseñar un sistema de captación de agua lluvia que se adapte a las condiciones de la empresa, específicamente para abastecer el área de la caldera.

En el diseño presentado se tuvo en cuenta la implementación de un tanque superficial, sin embargo, es posible reemplazarlo por un tanque subterráneo si la empresa lo considera una mejor opción, pero es importante resaltar que al tratarse de un tanque subterráneo se requiere inversiones adicionales derivadas de las excavaciones que se deben hacer en el suelo para su implementación.

La implementación del sistema de recolección de agua lluvia diseñado genera utilidad bruta para la empresa, esto debido a que la inversión inicial estimada se recupera en aproximadamente 2 años. También se evidencia que el proyecto es viable ya que se obtiene una Tasa Interna de Retorno del 66 % la cual indica que por cada 100 pesos invertidos en el desarrollo del proyecto se generan 66 pesos

adicionales. Igualmente se obtiene una rentabilidad equivalente al 95.69% que, representados en términos monetarios, genera una utilidad de \$ 1,393,186,608 al cabo de 20 años.

Finalmente, el proyecto podría proporcionar grandes beneficios ambientales ya que disminuye la demanda de agua de la empresa y con ello reduce el impacto ambiental sobre subcuencas que en muchos casos se declararon agotadas. Adicionalmente, el agua potable que se ahorra durante el año podría abastecer a 61 personas durante este mismo periodo.

Referencias

- Aristizábal Monsalve, P. A., & Correa Montoya, S. (2015). *Sistema de drenaje sostenible para el aprovechamiento del agua lluvia como recurso en procesos industriales.*
- CEPIS. (2004). *Guía De Diseño Para Captación Del Agua De Lluvia.*
- Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). Hidrología aplicada. In *Hidrologia Aplicada* (Issue (13°; McGrawHill, Ed.). Santafé de Bogotá.).
<https://es.slideshare.net/LuigiQuispeYanapa/hidrologia-aplicada-ven-te-chow-116834237>
- Empresas Públicas de Medellín. (2005). *Revista Hidrometeorológica*. 1(ISSN 1900-7248).
- Gitman, L. J. (2003). *Principios de administración financiera.*
[https://books.google.com.co/books?id=KS_04zILe2gC&pg=PA56&dq=margen+de+utilidad+bruto&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwio6LK-tsn1AhWDQjABHX0TC1IQ6AF6BAgHEAI#v=onepage&q=margen de utilidad bruto&f=false](https://books.google.com.co/books?id=KS_04zILe2gC&pg=PA56&dq=margen+de+utilidad+bruto&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwio6LK-tsn1AhWDQjABHX0TC1IQ6AF6BAgHEAI#v=onepage&q=margen%20de%20utilidad%20bruto&f=false)
- Ministerio de Ambiente, V. y D. T. (2010). *Política Nacional Recurso Hídrico.*
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 0330 de 2017: “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS- y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.” In *Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Republica de Colombia.* (p. 182). [http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330 - 2017.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330-2017.pdf)
- Municipio de Sabaneta, & Corantioquia. (2018). *Consolidación de Iniciativas de*

Conservación en el Municipio Sabaneta. 163.

ONU. (s.f.). *El agua, fuente de bienestar.*

<https://news.un.org/es/gallery/322831#:~:text=El agua está en el,potable gestionados de manera segura>

Palacio Castañeda, 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.*

<https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/2461/4/TFLACSO-2010ZVNBA.pdf>

Ponce Cedeño, O. S., Morejón Santiestevan, M. E., Salazar Pin, G. E., & Baque Sánchez, E. R. (2019). Introducción a las finanzas. In *Introducción a las finanzas*. <https://doi.org/10.17993/ecoorgycso.2019.50>

Rincón, O., Martínez, L., & Vega, D. (2019). *Alternativas Empresariales a través de indicadores de gestión ambiental.* 26. <https://repository.ucc.edu.co/>

Sánchez Forero, N. (2017). Cálculo de la precipitación media sobre la península de la Guajira usando el método Thiessen. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26(1), 97–108.

<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/16671/5/SanchezForeroNeeckYeins2017.pdf>

Sean Buckley. (2020). *NASADEM_HGTv001.*

https://lpdaac.usgs.gov/products/nasadem_hgtv001/

SIATA. (s.f.). *Sistema de Alerta Temprana.* https://siata.gov.co/siata_nuevo/