



Universidad del Valle

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL APROVECHAMIENTO DE AGUA SUB
SUPERFICIAL DEL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE ARTES INTEGRADAS DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE PARA USO EN MANTENIMIENTO, LIMPIEZA, RIEGO
DE JARDINES E INCENDIOS EN NUEVAS EDIFICACIONES DEL ÁREA DE
PROYECCIÓN Y DESARROLLO CULTURAL-UNIVERSIDAD DEL VALLE-SEDE
MELÉNDEZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO SANITARIO Y
AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:
ESAÚ SÁNCHEZ BASTO**

**DIRECTOR TRABAJO DE GRADO:
Ing.MSc.Ph.D. LUIS DARIO SÁNCHEZ TORRES
INSTITUTO CINARA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
SEDE MELÉNDEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
PROGRAMA INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**

SANTIAGO DE CALI, FEBRERO DE 2023

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Contexto histórico	4
2.2 Consumo de agua en la Universidad del Valle sede Meléndez	5
2.3 Consumos de agua en instituciones universitarias	5
2.3.1 Universidad Nacional de Colombia sede Medellín	5
2.3.2 Universidad Tecnológica de Pereira	7
3. MARCO TEÓRICO	8
3.1 Aguas de infiltración	8
3.2 Calidad de agua	8
3.3 Estructura de cálculo de los ICA	9
3.4 Uso del agua	10
3.5 Sistemas de bombeo electro sumergibles	11
4. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
5. JUSTIFICACIÓN	15
6. OBJETIVOS	17
6.1 Objetivo general	17
6.2 Objetivos específicos	17
7. METODOLOGÍA	18
7.1 Diagrama metodológico	18
7.2 Zona de estudio	18
7.2.1 Localización	18
7.2.2 Estudio de suelos	19
7.2.3 Descripción del área de proyección y desarrollo cultural de la Universidad del Valle	21
7.3 Estimación del caudal de agua subterránea	21
7.4 Evaluación de la calidad de agua del nivel freático	22
7.5 Identificación de alternativas de aprovechamiento del agua subsuperficial	26
8. RESULTADOS	29
8.1 Estimación del caudal sub superficial	29
8.2 Estimación de la calidad del agua	32

8.3 Alternativas de aprovechamiento	35
8.4 Calculo del sistema de bombeo	43
8.5 Estimativo de costos del proyecto	44
9. CONCLUSIONES	46
10. RECOMENDACIONES	48
11. REFERENCIAS	49
12. ANEXOS	54
12.1 Calculo del volumen de agua para el sistema contraincendios	54
12.2 Estimación del sistema de bombeo para suministro	55
12.3 Análisis económico de la inversión	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Consumo de agua potable en la sede Meléndez Universidad del Valle en los 2019-2021, fuente: elaboración propia.....	5
Figura 2 Resumen de la metodología, fuente: elaboración propia	18
Figura 3 Ubicación Edificio Facultad de Artes Integradas y Áreas de Proyección y Desarrollo Cultural, fuente: Área de Planeación Física Universidad del Valle.....	19
Figura 4 Red de drenaje subsuperficial sótano FAI, fuente: (Trochez, 2011).....	20
Figura 5 corte tubería PVC corrugada, fuente: (Trochez, 2011).....	20
Figura 6 Placa de la bomba existente	30
Figura 7 Histograma de frecuencia de medias	32
Figura 8 esquemas en planta de tanques de almacenamiento y sistema de tratamiento	35
Figura 9 Esquema general de usos de agua.....	36
Figura 10 esquema de uso de agua no potable para almacenamiento en tanque del sistema contraincendios	37
Figura 11 esquema de uso de agua no potable para uso ornamental y recarga de nivel freático.....	38
Figura 12 esquema de uso de agua no potable para usos en descarga de sanitarios, orinales, lavado de pisos y riego de jardines.....	39
Figura 13 Consumo de agua en sanitarios Corona Antivandálicos tipo Corona fuente: (Corona, 2021)	40
Figura 14 Diagrama área/densidad para rociadores, fuente: (NFPA, 2019).....	42
Figura 15 Curva de la bomba Vs Curva del sistema	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Estudio del consumo de agua núcleo “El Volador” Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Fuente: adaptado de (Perpiñán & Marbello, 2014).....	6
Tabla 2 Descripción del uso del agua de la facultad de ciencias ambientales, fuente: adaptado de (Manco-Silva et al., 2017)	7
Tabla 3 ecuaciones de cálculo para la determinación del ICA, fuente: (Torres et al., 2009)	10
Tabla 4 Clasificación de edificaciones por grupos y subgrupos, fuente: (NFPA, 2019) ..	12
Tabla 5 resultados estratigrafía edificio Facultad de Artes Integradas.....	19
Tabla 6 edificios proyectados en la franja cultural de la Universidad del Valle, fuente: (Vicerrectoría administrativa Universidad del Valle, 2018)	21
Tabla 7 Coeficientes de ponderación para el cálculo del ICA, fuente: (Barrera, 2022) ..	23
Tabla 8 Escala de clasificación del ICA y sus usos, fuente: (Peñafiel, 2014).....	24
Tabla 9 Tasa de filtración en función del nivel de sólidos en suspensión.....	25
Tabla 10 Caudal de operación ($m^3 \cdot hora^{-1}$) por unidad de filtro en función de la tasa de filtrado.....	25
Tabla 11 Tratamientos químicos preventivos del agua de riego.....	26
Tabla 12 Actividades para la determinación de un sistema de bombeo	28
Tabla 13 Resultados de medición del caudal promedio de bomba	29
Tabla 14 Especificaciones técnicas de la bomba existente, fuente: adaptado de (CODESOLAR, 2022).....	29
Tabla 15 Volumen diario bombeado hacia el alcantarillado	31
Tabla 16 Resultados pruebas fisicoquímicas y microbiológicas	33
Tabla 17 Estimación del ICA.....	33
Tabla 18 Baterías Sanitarias proyectadas para los nuevos edificios.....	39
Tabla 19 Conteo de descargas de baterías sanitarias de hombres en el auditorio del edificio E24 de la Facultad de Ingeniería.....	40
Tabla 20 Conteo de descargas de baterías sanitarias de mujeres en el auditorio del edificio E24 de la Facultad de ingeniería.....	41
Tabla 21 Consumo diario estimado de agua no potable (litros) en los edificios del área de cultura.....	41
Tabla 22 Consumo diario estimado de agua no potable en los edificios del área de cultura	42
Tabla 23 caudal de chorros de manguera y duración del suministro de agua según la clasificación del riesgo, fuente: (NFPA, 2019)	43
Tabla 24 Volumen de agua en tanque de almacenamiento del sistema de protección contra incendios	43
Tabla 25 Análisis de costos proyectado a 5 años.....	45
Tabla 26 Costo anual de metro cubico considerando las dos condiciones de servicio ..	45



Universidad del Valle

Nota de aceptación:

Firma del evaluador

Firma del evaluador

Santiago de Cali, 2023



DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado en primera instancia a las mujeres más especiales en mi vida;

Mi madre, Fanny Basto, por su dedicación, orientación, amor, apoyo y ejemplo.

Mi esposa Paola Bejarano, por su amor, paciencia, compañía, motivación y comprensión.

Mi Hermana Yaneth Sánchez, por su amistad, amor y apoyo incondicional.

Mi hija María del Mar Sánchez, por hacerme sentir un papá feliz y orgulloso.

De igual forma dedico este logro a mis hijos;

Juan David Borrero, por ser ese ser humano tan hermoso y hacer que sienta tanto orgullo de ser tu padre.

Isaac Sánchez, por ser una persona que llena de alegría mi vida.

Santiago, por ser ese hombre que va creciendo lleno de sueños y esperanzas y sentir que soy su guía para que por medio del estudio y el trabajo honesto seas un hombre feliz y útil a la sociedad.

También a mi padre Hudarot Sánchez, porque sembró en mí el ejemplo del trabajo y me dio su apoyo cuando más lo necesité.

A ellas y ellos muchas gracias por compartir conmigo el más grande sentimiento, el amor.



AGRADECIMIENTOS

Al profesor Luis Darío Sánchez PhD, director de trabajo de grado, por acompañarme y asesorarme en este proceso.

A la sección de sostenibilidad y mantenimiento de la Universidad del Valle, especialmente a Martín Martínez que desde la jefatura estuvo siempre dispuesto a apoyarme en este proceso.

A mi compañero y amigo Juan Camilo Triana por su apoyo, colaboración y consejos.

RESUMEN

El objetivo de este estudio es evaluar el potencial aprovechamiento del agua subsuperficial presente en el subsuelo de los edificios de la Facultad de Artes Integradas de la Universidad del Valle como uso de agua segura en los futuros edificios del Área de Proyección y Desarrollo Cultural del campus universitario. La metodología fue cuantitativa a través de mediciones de caudal y calidad del agua del nivel freático y estimación del consumo del agua para usos que no requieren calidad de agua potable en los futuros edificios; los datos de volumen diario ofertado por el sistema fueron determinados a través de aforos volumétricos y mediciones digitales con equipo electrónico; la calidad del agua se determinó calculando el ICA del cuerpo de agua; para estimar el consumo de agua no potable de los futuros edificios se asignaron consumos unitarios para la descarga de orinales, sanitarios, riego de jardines, lavado de pisos, extinción de incendios. Los resultados permitieron determinar que, el acuífero oferta un volumen diario promedio de 221 m³ por día; el índice de calidad de agua es de 42,4 correspondiente aun agua contaminada y que el volumen diario de agua no potable requerido por los edificios APDC es 44 m³. Se concluye que, el acuífero satisface la necesidad de agua diaria de los futuros edificios, el agua requiere tratamiento para mejorar su calidad y se proyecta infiltración al suelo del agua excedente.

Palabras claves: agua subsuperficial; Índice de Calidad de Agua; aprovechamiento; nivel freático; fuentes alternas.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las mayores problemáticas del siglo XXI es la necesidad de proveer la cantidad de agua necesaria para la creciente población mundial. Por lo tanto, el suministro de agua debe satisfacer las demandas para consumo humano, agrícola e industrial y considerando que la sexta parte de la población mundial no tiene garantizado el acceso al agua potable ni acceso a servicios básicos de saneamiento el panorama luce complejo y desalentador. Además, la demanda de agua sigue aumentando y cada vez hay menor disponibilidad debido a la explotación desmedida de las fuentes, la contaminación, inadecuadas prácticas y desperdicio, causados por la utilización de sistemas de distribución obsoletos e ineficientes (Arango, 2013).

A nivel mundial en materia de innovación tecnológica se está trabajando en la cadena del consumo doméstico de agua, dado que las distintas opciones existentes en el mercado son poco conocidas y usadas por buena parte de la población (Perpiñán Guerra & Marbello Pérez, 2014). En Colombia la implementación de las acciones tecnológicas orientadas al ahorro de agua se ha realizado de manera aislada en algunos centros comerciales e instituciones educativas (Perpiñán Guerra

& Marbello Pérez, 2014). Algunos de los factores limitantes al momento de tomar una alternativa técnica para el ahorro y uso eficiente del agua son: la limitación de infraestructura y espacios físicos, los requerimientos energéticos, la discontinuidad y complejidad tecnológica, la falta de uso de fuentes alternas, los altos costos de inversión inicial y de mantenimiento, los altos estándares de calidad del agua, los bajos precios en el servicio del agua potable y los largos periodos de recuperación de la inversión (Perpiñán Guerra & Marbello Pérez, 2014).

La demanda de agua se ha incrementado paralelamente con el crecimiento poblacional, económico e industrial, y como consecuencia se ha aumentado significativamente la presión sobre las fuentes hídricas. La demanda total de agua en Colombia para el año 2016 ascendió a 37.308 millones de m³, el incremento estimado con relación a 2012 fue del 5% (Pedraza et al., 2021).

Algunas ciudades como Bogotá D.C restringen el uso y explotación de las aguas subterráneas, debido a las diferentes normas, como el Decreto N°1541 de 1978 el cual define las regulaciones para la explotación de las aguas subterráneas y exige la obtención de concesión para la explotación del recurso hídrico. Sin embargo, en muchas construcciones se presentan escorrentías permanentes de aguas freáticas, que no se están aprovechando sino evacuando, con el fin de evitar asentamientos en las estructuras, causados por la saturación del terreno. Arrojar al alcantarillado el agua del subsuelo es un despropósito ya que las aguas de infiltración pueden usarse para diferentes usos tales como: riego de jardines, mantenimiento de las edificaciones, aparatos sanitarios como los orinales y los inodoros que cumplen la función de evacuar los desechos orgánicos generados por los seres humanos, en los cuales el uso de agua potable para este fin es un desperdicio (Muñoz & Buriticá, 2022).

El crecimiento actual de la ciudad de Cali ha sobrecargado la demanda hídrica en la zona sur oriental (zona de expansión) debido a que el crecimiento desproporcionado de la ciudad amplifica la presión sobre los altos requerimientos para mantener la estructura socio económica instalada. La oferta del agua potable para el sector de expansión de la ciudad de Cali es limitada y actualmente depende de la capacidad de producción de las Plantas de Tratamiento de Agua potable de Puerto Mallarino y Rio Cuaca ubicadas al oriente de la ciudad y abastecen al 75% de la población.

La Universidad del Valle sede Meléndez cuenta con la misma red de acueducto (material: asbesto cemento) desde hace 50 años, lo cual se hace evidente por las frecuentes roturas en las tuberías, causando impactos en la cobertura, continuidad y calidad del agua, ocasionando la interrupción del servicio afectando la normalidad académica y administrativa. Además, los cupos de estudiantes admitidos aumentaron, por lo que se requiere la construcción de nuevas edificaciones para dar respuesta a los servicios que demandan consumo de agua. Los principales usos de agua potable en el campus son para preparación de alimentos, higiene personal,



llenado de tanques contraincendios, entre otros, sin embargo, también hay usos como servicios sanitarios, laboratorios de docencia, riego de jardines, lavado de andenes, mantenimiento de edificios y aseo que no requieren que la calidad de agua cumpla con parámetros de calidad de agua potable.

Por consiguiente, el presente trabajo de grado busca evaluar el potencial aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo del edificio de la Facultad de Artes Integradas (FAI) para satisfacer la demanda de la expansión de los edificios A3, A4, A5 y A6 del área de proyección y desarrollo cultural, con el fin de aprovechar el agua subsuperficial para uso de servicios sanitario, orinales, sistema de redes contra incendios, riego de zonas verdes y lavado de pisos. Además, esta estrategia pretende contribuir al uso eficiente del agua del campus, y al cumplimiento de los objetivos 3, 6, 11 y 13 de desarrollo sostenible: salud y bienestar, agua limpia y saneamiento, ciudades y comunidades sostenibles y acción por el clima, respectivamente (ONU, 2015).

El fundamento del estudio se basa en dos premisas: La primera, es que no es ambientalmente sostenible usar agua potable para los servicios que no exijan tal calidad de agua. La segunda premisa, es que no es técnicamente correcto descargar las aguas subsuperficiales limpias en el alcantarillado sanitario municipal.

2. ANTECEDENTES

2.1 Contexto histórico

En la literatura, se encuentran estudios que conllevan a valorar la reducción en la demanda de agua potable en usos que no requieren agua potable mediante estrategias de reutilización de aguas grises y agua lluvia. Por ejemplo, la cultura de las motillas de la Mancha, tenían un pozo en el interior del recinto fortificado, de al menos 18 metros de profundidad, que podrían alcanzar los niveles calizos que forman el acuífero superior de la llanura manchega, de extensión regional. Se considera el sistema de aprovechamiento de las aguas subterráneas más antiguo de Europa (Del Pozo et al., 2016).

En la conferencia Internacional sobre el agua y el medioambiente (CIAMA) celebrada en Dublín, Irlanda, en 1992 se reunieron 500 participantes, entre los que destacaban expertos de más de 100 países y 80 organizaciones internacionales (Gubernamentales y no gubernamentales) (Muñoz, 2009). Los expertos concluyeron que la situación de los recursos hídricos se estaba volviendo crítica, debido a la escasez y el uso eficiente del agua, entre otras razones (Montoya Domínguez & Rojas Robles, 2019). En ese sentido, los expertos precisaron acciones concertada para solucionar tendencias de consumo excesivo e impactos ambientales como sequía y contaminación, basados en cuatro principios reitores (UNIFEM, 2008):

- 1) El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el ambiente
- 2) El aprovechamiento y la gestión del agua debe inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles
- 3) La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua
- 4) El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico

En el 2003, la falta de disposición de agua en adecuada cantidad y calidad para los distintos usos humanos conllevó a una situación de alerta, por lo que la Asociación Mundial para el Agua, GWP, (Global Water Partnership, por sus siglas en inglés) definió la gobernanza del agua como: “El rango de los sistemas políticos, económicos, sociales y administrativos que se establecen para el desarrollo, manejo y suministro en la sociedad” (Montoya-Domínguez & Rojas Robles, 2019). Asimismo, para los Objetivos del Milenio se planteó como meta específica, reducir el número de personas sin acceso a agua potable y a servicios de saneamiento básico (Justo, 2013).

2.2 Consumo de agua en la Universidad del Valle sede Meléndez

En la Figura 1 se presenta el consumo de agua en la Universidad del Valle de los años 2019, 2021 y parte del 2022 de acuerdo con información suministrada por la sección de sostenibilidad y mantenimiento de la Universidad del Valle.

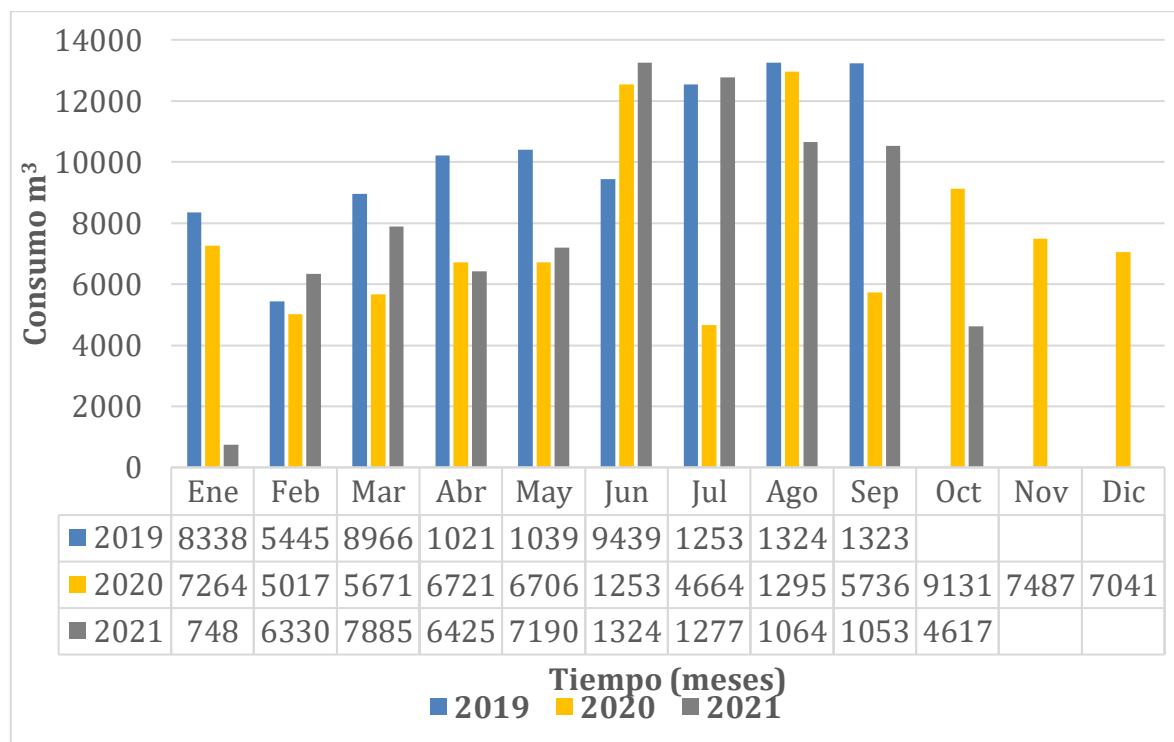


Figura 1 Consumo de agua potable en la sede Meléndez Universidad del Valle en los 2019-2021, fuente: elaboración propia

La Universidad del Valle sede Meléndez cuenta con dos acometidas de acueducto; una en la carrera 100 cuyo consumo es medido con el suscriptor 1300118 y otra acometida en la carrera 86 cuyo consumo es medido con el suscriptor 46758833.

2.3 Consumos de agua en instituciones universitarias

2.3.1 Universidad Nacional de Colombia sede Medellín

En el año 2014 el posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, del Departamento de Geociencias y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín) desarrolló una metodología de apoyo para la gestión integrada del agua del campus (Perpiñan & Marbello, 2014). El trabajo fue aplicado al núcleo “El Volador” de la Universidad Nacional de Colombia y se identificó que los principales usos de agua son: consumo humano, domestico, industrial, recreativo, pecuario y agrícola (ver Tabla 1).

Tabla 1 Estudio del consumo de agua núcleo “El Volador” Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Fuente: adaptado de (Perpiñán & Marbello, 2014)

Uso específico	Calidad actual	Calidad requerida	Consumo promedio (litros*día ⁻¹)	Porcentaje representativo
Bebida directa	Agua potable	Agua potable	8.4	2.5%
Realización de prácticas y servicios de laboratorio (docencia e investigación)	Agua potable	Agua potable y agua segura	4.8	1.4%
Funcionamiento de cafetines	Agua potable	Agua potable	1.7	0.5%
Funcionamiento de sanitarios	Agua potable	Agua segura	152.3	44.5%
Funcionamiento de orinales	Agua potable	Agua segura	17.6	5.2%
Funcionamiento de lavamanos	Agua potable	Agua potable	57.0	16.7%
Funcionamiento de duchas	Agua potable	Agua potable	8.6	2.5%
Lavado de pisos e instalaciones	Agua potable	Agua segura	4.3	1.2%
Preparación de alimentos en las cafeterías y establecimientos comerciales presentes en la sede	Agua potable	Agua potable	32.3	9.4%
Pérdidas por fugas en la red de acueducto	Agua potable		21.6	6.3%
Riego de canchas, jardines y zonas verdes	Agua potable	Agua segura	10.8	3.2%
Lavado de vehículos y equipos	Agua potable	Agua segura	7.0	2.0%
Operación de calderas en el laboratorio de lácteos	Agua potable	Agua segura	0.3	0.1%
Llenado, operación y mantenimiento de piscinas	Agua potable	Agua segura	6.0	1.8%
Alimentación de cabras criadas en el campus universitario	Agua potable	Agua segura	1.5	0.4%
Sostenimiento de los viveros forestales de la sede	Agua potable	Agua segura	5.0	1.5%
Riego de cultivos establecidos en algunas huertas instauradas en el campus	Agua potable	Agua segura	3.0	0.9%
TOTAL			342.0	100%

De lo anterior se evidencia que más del 50% del uso del agua corresponde a actividades que no requieren agua potable, como el servicio sanitario, el orinal y el riego.

2.3.2 Universidad Tecnológica de Pereira

En junio de 2017 se publicó el artículo estimación de la demanda de agua en centros educativos: caso de estudio Facultad de ciencias ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia (Manco-Silva et al., 2017). En esta investigación se identificaron los principales usos de agua de la facultad, los cuales se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2 Descripción del uso del agua de la facultad de ciencias ambientales, fuente: adaptado de (Manco-Silva et al., 2017)

Usos de agua		Consumo bruto ($l \cdot d^{-1}$)	Indic. bruto ($l \cdot p \cdot d^{-1}$)	Consumo neto ($l \cdot d^{-1}$)	Indicador neto ($l \cdot p \cdot d^{-1}$)
Aseo personal	Estudiantes	11476	11.5	10444	10.5
	Docentes y administrativos	1066	31.3	1055	31.0
Preparación de alimentos	Estudiantes	178	5.2	178	5.2
	Docentes y administrativos	200	0.2	188	0.2
Limpieza		250	0.1	250	0.1
Riego para jardín		450	45	450	45
Laboratorios		936	9.4	931	9.3
Pérdidas de agua	Físicas	1060	-	-	13.4%
	No registradas	1028	-	-	
Totalizador		15584	-	-	-
Demanda total		15584	-	13495	-

En ella se evidencia que los principales usos están destinados al aseo personal, laboratorios y en pérdidas de agua.

La norma técnica colombiana NTC 1500:2004 establece valores de 50 litros/usuario/día para instituciones educativas (Manco-Silva et al., 2017). Sin embargo, estos consumos dependen las situaciones particulares de las instituciones. Por ejemplo, algunos valores reportados muestran dotaciones de 21, 41 y 35 litros*(persona*día)⁻¹ en las universidades de los Andes, Antioquia y UNIVALLE, respectivamente (Manco-Silva et al., 2017). Para el caso de la Universidad tecnológica de Pereira fue de 15,1 litros*(persona*día)⁻¹



3. MARCO TEÓRICO

3.1 Aguas de infiltración

El agua presente en el subsuelo se encuentra dentro de los espacios intergranulares del terreno y su cantidad depende de la cantidad de vacíos por unidad de volumen de cada estrato (porosidad) y ésta, a su vez, depende de la disposición de los granos, de la textura del material y del grado de compactación (Granados, 2002). Otra característica de los suelos, tan importante como la porosidad, es la permeabilidad y consiste en la capacidad para transmitir o dejar pasar el agua contenida en el terreno (Granados, 2002).

El agua entre las capas del suelo puede estar en reposo o en movimiento, de acuerdo con la disposición de los estratos y de las zonas de alimentación y evacuación. El nivel superior del agua se conoce como nivel freático o tabla de agua y en un mismo sitio varía según el régimen de lluvias (Granados, 2002).

En el momento de colocar una estructura en una cota inferior al nivel freático, se presentan presiones por la acción del agua sobre los muros laterales y sobre la placa de contrapiso (Granados, 2002). Con el fin de controlar los esfuerzos generados por el agua, se dejan tuberías de drenaje; sin embargo, hay dificultad para predecir la cantidad de agua que se va a infiltrar (Granados, 2002).

La expresión general que rige el movimiento del agua en medios porosos se presenta en la Ecuación 1 y es conocida como fórmula de Darcy:

$$Q = K * I * A$$

Ecuación 1

Donde:

Q=Caudal en $m^3 \cdot día^{-1}$

I=gradiente hidráulico o pendiente de la tabla de agua ($m \cdot m^{-1}$)

A=Área normal a la dirección del caudal (m^2)

K=coeficiente de permeabilidad

3.2 Calidad de agua

La calidad del agua es uno de los indicadores más importantes en la gestión de los recursos hídricos, la clasificación se basa en la pureza o tipo de contaminación, data del año 1848 y se evalúa desde las características físicas, químicas y biológicas. La gran variedad de factores y parámetros que afectan la calidad del agua hace que su evaluación sea una tarea compleja. Nace entonces la necesidad de construir índices de calidad de agua (ICA) como una técnica valiosa para describir su estado en un solo término de fácil comunicación al público y a los responsables de la toma

de decisiones. En 1908, se utilizó uno de los primeros índices de calidad del agua, ICA, denominado índice sapróbico, para estimar la materia orgánica fácilmente degradable en agua superficial y desde entonces se han desarrollado muchos índices (Pérez et al., 2018).

Para facilitar la interpretación de los datos físicos, químicos y biológicos, cada vez más agencias medioambientales, universidades e institutos de investigación recurren a los índices de calidad y contaminación del agua (ICA e ICO), los cuales mediante una expresión matemática se logra representar la mayoría de los parámetros valorados para evaluar el recurso hídrico (Samboni et al., 2007). La elaboración y aplicación de este índice es específico para cada región o fuente en particular; pero su construcción básicamente consta de tres pasos fundamentales:

- 1) La selección de las variables
- 2) La determinación de los subíndices para cada parámetro
- 3) y la elección de la fórmula de agregación.

Las variables que más se tienen en cuenta para su estimación son: pH, oxígeno disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), nitrógeno, fosfatos y sólidos totales (ST). Por lo tanto, su uso no puede ser generalizado y cada caso debe ser evaluado ya que se podría terminar realizando juicios subjetivos e incurrir en un error. Además, un solo indicador no puede evaluar la dinámica de un sistema, por lo que, es importante involucrar cada variable individualmente según sea el caso (Samboni et al., 2007).

3.3 Estructura de cálculo de los ICA

La estructura de cálculo de la mayoría de los ICA se basa en la normalización de los parámetros que los conforman de acuerdo con sus concentraciones, para su posterior ponderación en función de su importancia en la percepción general de la calidad agua; se calcula mediante la integración de las ponderaciones de los parámetros a través de diferentes funciones matemáticas (Torres et al., 2009).

Existen dos enfoques para el cálculo: 1) el producto ponderado en el cual los pesos dan importancia a los puntajes y todos ellos son ponderados de acuerdo con la importancia de los pesos y luego son multiplicados y 2) la suma ponderada, en la cual cada puntaje es multiplicado por su peso y los productos son sumados para obtener el índice, si los pesos son iguales para cada puntaje. El valor del índice es llamado valor aritmético no ponderado, si la suma de los pesos no es igual, se conoce como valor aritmético de la calidad del agua (Amaya, 2018). La Tabla 3 muestra las ecuaciones de cálculo de los ICA, asociados por grupos de acuerdo con el tipo de ecuación utilizada (Torres et al., 2009).

Tabla 3 ecuaciones de cálculo para la determinación del ICA, fuente: (Torres et al., 2009)

Grupo	Índice	Ecuación	Observaciones
1	ICA NSF (EU) ICA Dinius (EU) IQA CETESB (Brasil) ICA Rojas (Colombia) ICAUCA (Colombia)	$ICA_m = \prod_{i=1}^n I_i^{w_i}$	Promedio geométrico ponderado: Wi: peso o porcentaje asignado al i-ésimo parámetro Ii: subíndice de i-ésimo parámetro
2	CCME-WQI (Canadá) DWQI (EU)	$ICA = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$	El índice incorpora tres elementos: Alcance (F1): porcentaje de parámetros que exceden la norma. Frecuencia (F2): porcentaje de pruebas individuales de cada parámetro que excede la norma. Amplitud (F3): magnitud en la que excede la norma cada parámetro que no cumple
3	UWQI (Europa)	$UWQI = \sum_{i=1}^n w_i I_i$	Promedio aritmético ponderado: Wi: peso o porcentaje asignado al i-ésimo parámetro Ii: subíndice de i-ésimo parámetro
4	ISQA (España)	$ISQA = T (DQO + SS + OD + Cond)$	T: Temperatura DQO: Demanda Química de Oxígeno OD: Oxígeno Disuelto Cond: Conductividad SS: Sólidos suspendidos A partir de 2003 el ISQA se empezó a calcular reemplazando la DQO por el carbono orgánico total (COT en mg/l)
5	IAP (Brasil)	IAP = ISTO x IQA CETESB ISTO = ST x SO ST=Mín-1 (q1, q2, ..., qn) x Mín-2 (q1, q2,...,qn) SO=Media Aritmética (qa,qb,...,qn)	Donde: IQA: Índice de Calidad del Agua adaptado del ICA NSF para las condiciones de Brasil ISTO: Índice de Sustancias Tóxicas y Organolépticas ST: Ponderación de los dos subíndices mínimos más críticos del grupo de sustancias tóxicas SO: Ponderación obtenida a través de la media aritmética de los subíndices del grupo de sustancias organolépticas

3.4 Uso del agua

El ordenamiento jurídico colombiano define los usos y la forma de acceder a ellos en el artículo 41 del Decreto 1541 de 1978, donde se consagra un orden de prioridades para el otorgamiento de concesiones, de acuerdo con la siguiente clasificación: para consumo humano, colectivo o comunitario, sea urbano o rural; para la satisfacción de necesidades domésticas individuales; para usos agropecuarios comunitarios e individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca; para la generación de energía hidroeléctrica; para usos industriales o manufactureros; para las actividades mineras, y para fines de recreación tanto comunitaria como individual (Osorio et al., 2016).

Sin embargo, una norma posterior, el Decreto 3930 de 2010, derogó parcialmente este reglamento y, no obstante permanecer vigente la disposición que consagró las prioridades, en el artículo 9 señaló los siguientes usos del agua: consumo humano

y doméstico; preservación de flora y fauna; agrícola, pecuario, recreativo, industrial, estético; pesca, maricultura y acuicultura, y navegación y transporte acuático (Osorio et al., 2016).

Se entiende por uso del agua para consumo humano la utilización del recurso hídrico para satisfacer las necesidades domésticas, y la producción de alimentos y bienes de consumo, así como otras necesidades básicas o suntuarias de las personas (Osorio et al., 2016).

El Decreto 3930 de 2010, en su artículo 10, establece el uso del agua para consumo humano y doméstico cuando contribuye a satisfacer actividades tales como la bebida directa; la preparación de alimentos para consumo inmediato, especialmente los destinados a la comercialización o distribución, que no requieran elaboración, y las necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como la higiene personal y la limpieza de elementos, materiales o utensilios (Osorio et al., 2016).

3.5 Sistemas de bombeo electro sumergibles

Un sistema de bombeo aporta energía al sistema para vencer la resistencia existente para lograr que el líquido fluya hacia un punto determinado. La resistencia al flujo del líquido es conocido como altura dinámica total TDH. Esta comprende los siguientes términos: altura estática de succión y de descarga, las pérdidas de carga por rozamiento, la altura de velocidad, pérdidas de cargas locales y la diferencia de presión existente sobre el líquido en el lado de la succión y en el lado de la descarga (Navarrete & Martínez, 2011).

En el caso de las bombas sumergibles el agua se succiona directamente dentro de un pozo o tanque de succión. La tubería de impulsión es la que recibe el agua y la transporta a presión hasta el punto de evacuación o de almacenamiento. Los aspectos más importantes del dimensionamiento de la tubería de descarga son la velocidad de circulación y las pérdidas por fricción. El sistema de bombeo debe tener una válvula de regulación y otra de cheque en la tubería de impulsión (Navarrete & Martínez, 2011).

La altura requerida por las bombas para descargar el caudal a través del sistema de tubería, se la obtiene desarrollando la curva altura vs caudal del sistema. Esta curva es la representación gráfica de la altura del sistema y se la obtiene dibujando los puntos correspondientes a la altura manométrica para una gama de caudales que varían desde cero al valor máximo esperado. La altura a la que la bomba puede impulsar los diversos caudales a una determinada velocidad de funcionamiento constante se establece en los ensayos de bombeo del fabricante. A esto se le denomina curva de la bomba. El punto de operación de la bomba lo determina la intersección de la curva de la geometría del sistema y la curva del fabricante de la bomba (Navarrete & Martínez, 2011).

Toda edificación debe cumplir con los requisitos mínimos de protección contra incendios establecidos en el título J de la NSR 10, correspondientes al uso de la edificación y a su grupo de ocupación, de acuerdo con la clasificación dada en J.1.1.2. En consecuencia, el propósito del Título J es definir los requisitos con base en las siguientes premisas:

- Reducir en todo lo posible el riesgo de incendios en edificaciones
- Evitar la propagación del fuego tanto dentro de las edificaciones como hacia estructuras aledañas
- Facilitar las tareas de evacuación de los ocupantes de las edificaciones en caso de incendio
- Facilitar el proceso de extinción de incendios en las edificaciones
- Minimizar el riesgo de colapso de la estructura durante las labores de evacuación y extinción

Para el cumplimiento de los requerimientos establecidos en el Título J de la norma NSR 10 es necesario clasificar las edificaciones por grupos de ocupación, tal como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4 Clasificación de edificaciones por grupos y subgrupos, fuente: (NFPA, 2019)

Grupos y Subgrupos de ocupación	Clasificación	Sección del Reglamento
A	ALMACENAMIENTO	K.2.2
A-1	Riesgo moderado	
A-2	Riesgo bajo	
C	COMERCIAL	K.2.3
C-1	Servicios	
C-2	Bienes	
E	ESPECIALES	K.2.4
F	FABRIL E INDUSTRIAL	K.2.5
F-1	Riesgo moderado	
F-2	Riesgo bajo	
I	INSTITUCIONAL	K.2.6
I-1	Reclusión	
I-2	Salud o incapacidad	
I-3	Educación	
I-4	Seguridad pública	
I-5	Servicio público	

Toda edificación clasificada en el grupo de ocupación I (Institucional) debe estar protegida por un sistema, aprobado y eléctricamente supervisado, de rociadores automáticos de acuerdo con la NTC 2301 y con la NFPA 13, así:

- En la totalidad de edificios con área total de construcción de 2000 m² o mayor, clasificados en el subgrupo de ocupación de educación (I-3).
- En la totalidad de edificios con más de cuatro pisos o 12 m de altura, lo que sea mayor, clasificados en el subgrupo de educación (I-3).

- c) En la totalidad de edificios con uno o más pisos bajo el nivel del suelo, clasificados en el grupo de ocupación de educación (I-3).

Toda edificación clasificada en el grupo de ocupación I (Institucional) debe estar protegida por un sistema de tomas fijas para bomberos y mangueras para extinción de incendios diseñados de acuerdo con la NTC 1669 y la NFPA 14.

4. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La infiltración de agua pluvial o agua subterránea al sistema de drenaje urbano es un fenómeno que puede afectar negativamente la capacidad hidráulica de la red de drenaje por el aumento de volumen que se genera (Espinosa et al., 2015). Asimismo, se pueden propiciar cambios en la composición química del agua residual que se transporta por la dilución de sus componentes en un mayor volumen de agua. Los impactos que se generan involucran costos técnicos y económicos, por ejemplo: el desbordamiento de las tuberías y problemas en la operación de la planta de tratamiento (Espinosa et al., 2015).

En muchas edificaciones se presenta flujo permanente en las aguas subsuperficiales y su aprovechamiento es poco o nulo. Sin embargo, considerando que se pueden ocasionar problemáticas como asentamientos e inundaciones en las estructuras del edificio, urge buscar una alternativa para evitar esta situación. Uno de los escenarios más comunes es que el agua se desperdicia en gran medida debido a que se dispone en el alcantarillado público. Esta problemática da cuenta de la falta de aprovechamiento del recurso hídrico, y un desperdicio dado que puede ser aprovechado en la edificación, pues las condiciones del agua subterránea normalmente son idóneas para diferentes usos, como: descargas para aparatos sanitarios como inodoros y orinales, riego para jardines y actividades de aseo, porque, no requieren agua potable.

Con el fin de optimizar el uso actual del agua subsuperficial en el edificio de la FAI de la Universidad del Valle y mitigar los impactos anteriormente mencionados, se ha formulado la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los parámetros que el agua subsuperficial del edificio de la facultad de artes integradas de la Universidad del Valle debe cumplir para que sea potencialmente aprovechado en los usos que no requieran calidad de agua potable en las nuevas edificaciones del área de proyección y desarrollo cultural-Universidad del Valle sede Meléndez? El responder esta pregunta permitirá determinar si el agua sub superficial presente en el subsuelo de los edificios de la Facultad de Artes Integradas de la Universidad del Valle cumple con los parámetros de calidad y cantidad que le permita ser aprovechada en labores que no acarreen riesgo para la salud humana y así suplir parcialmente la demanda que a futuro requieren los edificios del Área de Proyección y Desarrollo Cultural de la Universidad del Valle, el potencial es de interés y ese recurso actualmente se descarga al alcantarillado sin analizar otro tipo de aprovechamiento.

5. JUSTIFICACIÓN

Desde finales del siglo pasado se ha venido comprendiendo la importancia del medio ambiente y de los recursos naturales en la generación y sustento de los procesos de desarrollo (Rodríguez, 2009). Adicionalmente, existen argumentos científicos que permiten concluir que durante los últimos años ha venido disminuyendo de manera consistente la oferta hídrica superficial (Zabala, 2019). En ese sentido, temas como la planificación de la demanda y la gestión integral del agua, son cada vez más relevantes y se constituyen como herramientas que permiten contribuir a la búsqueda de soluciones para los problemas de abastecimiento, con enfoque ambiental, social y económicamente sostenible. Un ejemplo de ello es el aprovechamiento de las aguas subsuperficiales, (Gómez Español, 2012).

La variabilidad climática, las crecientes presiones de agua en zonas donde hay disponibilidad limitada y el empobrecimiento de la calidad de las aguas superficiales evidencian la importancia de aprovechar las aguas subterráneas. Además, la demanda de agua en el mundo crece de manera exponencial y teniendo en cuenta que la escasez de agua es un problema a nivel mundial que genera consecuencias como enfermedades, hambre, conflictos, entre otros, se debe buscar una estrategia que permita aprovechar el potencial uso de agua subsuperficial (Arrojo, 2008).

Múltiples estudios reportan que, al reducir el consumo de agua potable, se incrementa la vida útil de los sistemas de potabilización, se disminuyen los costos de operación, lo cual reduce significativamente el costo económico que deben pagar las entidades públicas y empresas privadas (Perpiñan Guerra & Marbello Pérez, 2014). Además, el uso de agua lluvia en actividades que no requieran que la calidad del agua no sea potable es una necesidad que cada vez se hace más evidente. Por eso, comprender el potencial y aprovechar el agua subsuperficial y el agua lluvia es fundamental para aumentar la disponibilidad de agua, reducir costos económicos (Aguilar-Barajas et al., 2015) y también contribuir a la seguridad hídrica y la sustentabilidad de la sociedad.

La escasez de agua es una situación en la cual la demanda de este recurso hídrico no puede satisfacer las necesidades debido al impacto del uso del agua en el suministro o en la calidad del recurso (UNESCO, 2015). La escasez de agua depende principalmente de dos factores, el crecimiento demográfico y el cambio climático, especialmente en zonas áridas, donde las temperaturas tienen valores muy elevados, generando evaporación en las fuentes de agua dulce de las cuales la población se satisface (Altieri & Nicholls, 2008; Martínez & Villalejo, 2018). Además, más de dos mil millones de personas en el mundo, dependen de los pozos subterráneos para abastecerse de agua y cubrir sus necesidades básicas, por eso,



es importante el desarrollo de estrategias que tengan como finalidad el aprovechamiento del agua subterránea (Buriticá & Muñoz, 2021).

Las soluciones planteadas desde la ingeniería deben incorporar la integralidad de la dimensión ambiental, económica y social, para implementar gradualmente estrategias que coadyuven a una mejor continuidad, calidad, cobertura y continuidad del servicio. Por todo lo expuesto, es necesario investigar y plantear alternativas que permitan aprovechar el potencial uso de agua subsuperficial del edificio de la facultad de artes integradas, con el fin de no generar un gasto innecesario en el nuevo consumo de agua potable, lo cual incrementaría los costos del servicio público de acueducto.

El presente trabajo de grado se realizó en el marco del Plan Maestro de la Universidad del Valle, donde se contempla la construcción de nuevas edificaciones, entre ellas, las que corresponden al Área de Proyección y Desarrollo Cultural. Estos edificios proyectados son de interés para esta investigación, debido a la proximidad con los edificios de la Facultad de Artes Integradas y a su potencial abastecimiento con el agua del nivel freático de la FAI para promover prácticas de edificios sostenibles.



6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

- Contribuir al uso eficiente y ahorro del agua, aprovechando agua subsuperficial presente en el edificio de la facultad de artes integradas de la Universidad del Valle que facilite al área de Planeación Física el uso del agua en nuevas edificaciones para su mantenimiento y limpieza en el campus universitario de Meléndez.

6.2 Objetivos específicos

- Estimar el caudal de agua subterránea que el acuífero ubicado bajo el sótano del edificio de la Facultad de Artes puede ofertar para uso seguro en actividades que no requieran agua potable.
- Evaluar la calidad de agua del nivel freático en el sótano de la Facultad de Artes.
- Identificar alternativas de aprovechamiento del agua subsuperficial en los futuros edificios del Área de Proyección y Desarrollo Cultural de la Universidad del Valle.

7. METODOLOGÍA

7.1 Diagrama metodológico

En la Figura 2 se presenta el esquema de la metodología empleada para el cumplimiento de los objetivos planteados en la presente investigación.

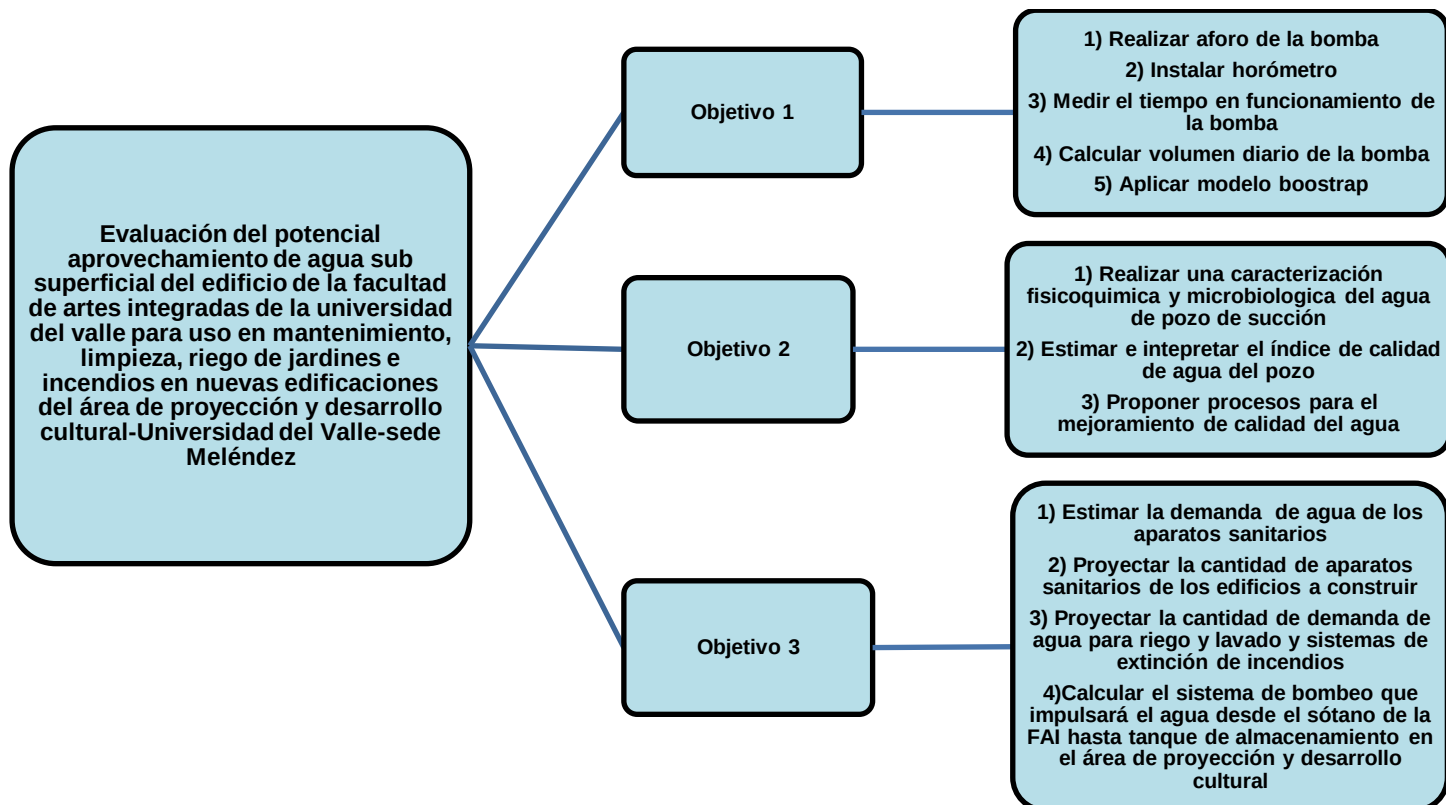


Figura 2 Resumen de la metodología, fuente: elaboración propia

7.2 Zona de estudio

7.2.1 Localización

En la Figura 3 se presenta la localización de los edificios del campus Meléndez de la Universidad del Valle de los cuales se puede potencialmente utilizar el agua. En el cual se evidencia la cercanía entre los edificios que el presente proyecto relaciona: edificio FAI como fuente de abastecimiento alterna de agua para uso distinto a consumo humano y la franja donde a futuro se planea construir el área cultural de la Universidad del Valle.

La Facultad de Artes está conformada por 7 edificios E6, E7, E8, E9, E10, E11, E12 y los edificios rondan tres pisos y un sótano en el edificio E7 y el Hall de los pasos perdidos, que es una especie de sótano con profundidad de 3.2 m.

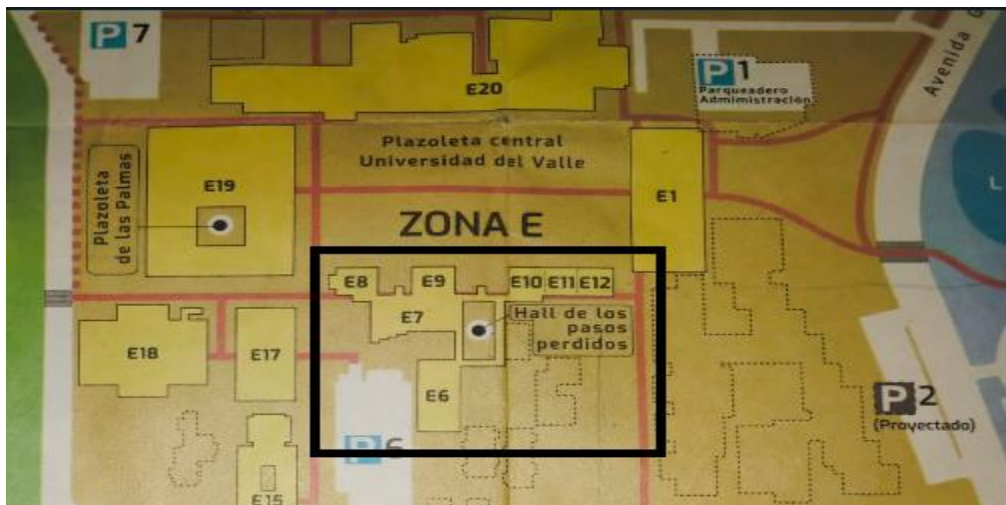


Figura 3 Ubicación Edificio Facultad de Artes Integradas y Áreas de Proyección y Desarrollo Cultural, fuente: Área de Planeación Física Universidad del Valle

7.2.2 Estudio de suelos

Para comprender el tipo de subsuelo del edificio, se revisó el estudio realizado por Rosales (2010), para la dirección de infraestructura universitaria. En este informe se evidencian humedades en los muros de contención y un inundado parcial con lámina de agua de 20 cm, lo cual dificulta el mantenimiento de la edificación. En la Tabla 5 se presentan los resultados de la estratigrafía correspondiente a doce perforaciones con una profundidad de hasta 4 metros y se clasificó según el USC (Sistema Único de Clasificación).

Tabla 5 resultados estratigrafía edificio Facultad de Artes Integradas

H	Tipo de suelo USC
0.0 – 0.80	Relleno: Conformado con limos arenosos de color café oscuro, café claro y roca muerta. En las perforaciones P1 y P6, no aparece el relleno, en su lugar se detectó la capa vegetal, conformada por arcillas limosas color café oscuro. En la perforación P9, el relleno se extiende hasta los 2,60 metros.
0.80-4.00	Limo inorgánico: de color café claro y amarillo. Contiene arena fina. La clasificación USC es MH. En las perforaciones P1, P2, P3, P4, P8 y P10, entre los 1.5 y 2.5 metros de profundidad aparece un estrato de limo inorgánico -MH- de color café oscuro. En las perforaciones P4 y P10, entre 3 y 4 metros y entre los 1.2 y 2.5 metros de profundidad, respectivamente aparecen bolsas de arena limosa y grava limosa de color café claro y amarillo.

El nivel freático se midió en época de verano con los piezómetros y se observó agua entre los 2.8 y 3.8 metros de profundidad. En la perforación P5, que se ubicó a nivel del sótano, aparece agua freática a los 0.40 m de profundidad. De acuerdo con el informe, se detectó que el nivel freático entre los 2.58 y 3.71 m, está generando supresiones e inundaciones al sótano. En la Figura 4 se presenta la red de drenaje de nivel freático bajo las placas de contrapiso en escala 1:200 y en la Figura 5 el corte de la tubería PVC corrugada en escala 1:20.

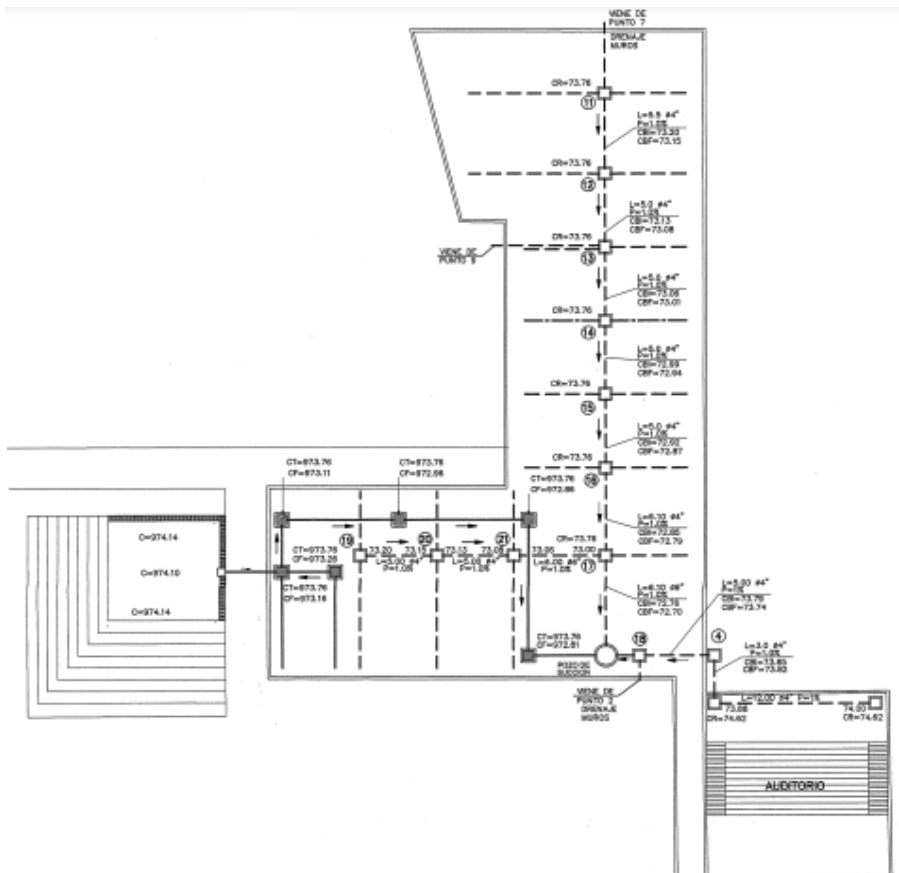


Figura 4 Red de drenaje subsuperficial sótano FAI, fuente: (Trochez, 2011)

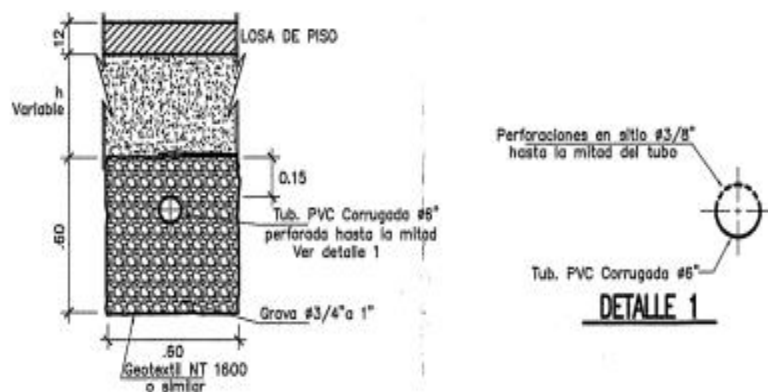


Figura 5 corte tubería PVC corrugada, fuente: (Trochez, 2011)

De acuerdo con la información obtenida en las perforaciones, los ensayos de laboratorio y el monitoreo del nivel freático en 18 días, se estableció que las filtraciones presentadas en el sótano del Edificio FAI, son provenientes del agua lluvia o tuberías en mal estado, que se ubican en la zona verde aledaña a los muros de contención, las cuales viajan en forma rápida por los rellenos deficientemente compactados y altamente permeables, que se conformaron detrás de los muros. El otro aporte lo hace el ascenso del nivel freático, que en época de verano se ubica en la cota 974.72 y el piso del sótano se encuentra en la cota 973.76, es decir que el agua está a 0.96 m, sobre el nivel del sótano inundándolo.

7.2.3 Descripción del área de proyección y desarrollo cultural de la Universidad del Valle

En el sector noroeste del campus universitario, el plan maestro proyecta a lo largo de la avenida Paso ancho (calle 13) la construcción de nuevos edificios donde se desarrollarán actividades académicas, culturales, científicas y educativas de la institución. Se prevé la construcción de un museo de arte moderno y de colecciones científicas, que además de alojar investigaciones permitirá vincular directamente al público interesado en la divulgación de sus hallazgos. El área al extremo norte de este sector puede acoger el Centro de Convenciones. En la Tabla 6 se presenta la nomenclatura de los futuros edificios a construir.

Tabla 6 edificios proyectados en la franja cultural de la Universidad del Valle, fuente: (Vicerrectoría administrativa Universidad del Valle, 2018)

Nombre	Nomenclatura
Museo y galerías	A3
Centro de cultura e idiomas	A4
Centro de eventos y exposiciones	A5
Edificio complementario al servicio médico	A6

7.3 Estimación del caudal de agua subterránea

Inicialmente se estimó el caudal de la bomba sumergible del sótano de la facultad de artes integradas, midiendo el tiempo de llenado de un tanque de volumen de 228.8 litros, se realizaron diez mediciones de tiempo de llenado para obtener mediante la Ecuación 2 el caudal de la bomba.

$$Q = V/T$$

Ecuación 2

Donde:

Q= caudal (litros*segundo⁻¹)

V= volumen (litros)

T= tiempo (segundos)

Posteriormente se determinó el tiempo de funcionamiento de la bomba por día mediante la instalación en el tablero de control del sistema de bombeo de un contador digital LA8N-BN y un horómetro. La medición del tiempo de funcionamiento de la bomba se realizó cada día a las 12:00 pm, después de cada lectura se reinició el contador y el horómetro.

El valor medido del horómetro fue en minutos*día⁻¹ y el caudal de la bomba en litros*minuto⁻¹, por lo tanto, despejando el volumen en la Ecuación 2 se obtuvo el volumen de agua bombeada al alcantarillado por día.

Mediante el software R se aplicó la técnica de re-muestreo Bootstrap a los registros diarios del volumen de agua enviado al alcantarillado mediante el sistema de bombeo para obtener un volumen diario promedio de acuerdo con Ledesma (2008) esta es una técnica que permite resolver problemas relacionados con la estimación de parámetros estadísticos en las situaciones en las que no se cuenta con información acerca de la distribución muestral de los valores promedio.

7.4 Evaluación de la calidad de agua del nivel freático

Para la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de pozo de succión se contrató al laboratorio de servicios a la comunidad de la facultad de ingeniería del EIDENAR. Los parámetros evaluados fueron: Alcalinidad total, cloruros, color real y verdadero, conductividad hidráulica, dureza cálcica, dureza total, fosforo reactivo total, oxígeno disuelto (*in situ*), pH (*in situ*), sulfatos, Temperatura (*in situ*), turbidez, hierro total, manganeso total, coliformes fecales y totales.

A partir de los resultados de la caracterización se realizó la estimación del índice de calidad de agua (ICA). Los resultados se expresaron en el rango de 0% para agua altamente contaminada hasta 100% agua en excelentes condiciones (Uriburu, 2018). Para la estimación se usaron las Ecuaciones 3-15 y los factores de ponderación presentados en la Tabla 7.

$$I_{pH} = 10^{0,2335 \text{ pH} + 0,44}$$

Si el pH es menor que 6.7

Ecuación 3

$$I_{pH} = 100$$

Si el pH está entre 6.7 y 7.3

Ecuación 4

$$I_{pH} = 10^{4,22 - 0,293 \text{ pH}}$$

Si el pH es mayor que 7.3

Ecuación 5

Color

$$I_C = 123 C^{-0.295}$$

Ecuación 6

Turbiedad

$$I_T = 108 T^{-0.178}$$

Ecuación 7

Conductividad Eléctrica

$$I_{CE} = 540 CE^{-0.379}$$

Ecuación 8

Alcalinidad

$$I_A = 105 A^{-0.186}$$

Ecuación 9

Dureza Total

$$I_{DT} = 10^{1.974 - 0.00174 (DT)}$$

Ecuación 10

Fosfatos Totales

$$I_{PO4} = 34.215 (PO4)^{-0.46}$$

Ecuación 11

Cloruros

$$I_T = 121 (Cl)^{-0.223}$$

Ecuación 12

Oxígeno Disuelto

$$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{sat}} \times 100$$

Ecuación 13

Coliformes Totales

$$I_{CT} = 97.5 CT^{-0.27}$$

Ecuación 14

Coliformes Fecales

$$I_{Ec} = 97.5 (5(CF))^{-0.27}$$

Ecuación 15

Tabla 7 Coeficientes de ponderación para el cálculo del ICA, fuente: (Barrera, 2022)

Parámetro	Importancia	Parámetro	Importancia¹
Alcalinidad total	1	Turbiedad	0.5
Cloruros	0.5	Coliformes totales	3
Color	1	Coliformes fecales	4
Conductividad eléctrica	2	pH	1
Dureza total	1	Oxígeno Disuelto	5
Fósforo reactivo total	2		

Nota 1: importancia es una variable que se utilizan para el cálculo del ICA y permite diferenciar la relevancia de los distintos parámetros analizados en el laboratorio.

Una vez calculados los valores con las Ecuaciones 3 a 15 se reemplazaron en la Ecuación 16 para estimar el ICA.

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Ecuación 16

Donde:

ICA=Índice de calidad de agua global

I_i =Índice de calidad para el parámetro i

W_i =Coeficiente de ponderación del parámetro i

n =Número total de parámetros

El valor del ICA fue comparado con la escala de clasificación presentada en la Tabla 8 para determinar el criterio de contaminación y sus potenciales usos.

Tabla 8 Escala de clasificación del ICA y sus usos, fuente: (Peñafiel, 2014)

ICA	Criterio general	Abasto público	Recreación	Pesca y vida acuática	Industrial y agrícola
100 95 90	No Contaminado	No requiere purificación			No requiere purificación
85 80	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación para algunos procesos
75 70		Mayor Necesidad de tratamiento		Aceptable excepto especies sensibles	
65 60	Poco contaminado		Aceptable No recomendable	Dudoso para especies sensibles	Sin tratamiento para industria normal
55 50					
45 40	Contaminado	Dudoso	Dudoso para contacto directo Sin contacto con el agua	Solo organismos muy resistentes	Tratamiento en la mayor parte de la industria
35 30					
25 20	Altamente contaminado	No aceptable	Señal de contaminación	No aceptable	Uso muy restringido
15 10			No aceptable		No aceptable

Los principales tipos de filtrado existentes para los sistemas de riego plantean el uso de diferentes sistemas de filtración en grava. De las experiencias obtenidas en el desarrollo de proyectos del Instituto CINARA y la Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente -EIDENAR-, los sistemas más comunes en Colombia son:

- Pre-filtrado: filtros de grava e hidrociclones
- Filtrado: filtros de malla y filtros de anillo

El filtro de grava es útil para tratar aguas con presencia de partículas orgánicas e inorgánicas con bajas pérdidas de carga ya que el lecho filtrante (grava) trabaja en superficie y en profundidad. La capacidad de flujo de un filtro de grava para uso en riego está en función del diámetro del material granular y la tasa de filtrado (ver Tabla 9 y 10) (Sánchez et al., 2011).

Tabla 9 Tasa de filtración en función del nivel de sólidos en suspensión		
Concentración de sólidos en suspensión	Concentración (ppm)	Tasa de filtración (m³/hora/m²)
Leve	0-10	61.1-73.3
Moderado	10-100	48.9-61.1
Severo	100-400	36.5-48.9

Tabla 10 Caudal de operación (m³*hora⁻¹) por unidad de filtro en función de la tasa de filtrado

Tasa de filtración (m³/(hora*m²))	Diámetro del filtro en (pulgadas)				
	18	24	30	36	48
36.5	6.1	10.7	16.8	24.0	42.9
48.9	8.0	14.3	22.3	32.0	57.0
61.1	10.0	17.9	27.9	40.2	71.3
73.3	12.0	21.3	33.4	48.2	85.6

Los filtros deben lavarse cuándo la pérdida de carga haya alcanzado valores de 6 a 7 mca (metros columna de agua) lo que hace impráctica su aplicación. Según Martínez (2001) lavar los filtros antes de presentarse esta pérdida de carga no mejora el proceso, sólo ocasiona un mayor consumo de agua en el lavado (Sánchez et al., 2011).

Los tratamientos químicos aplicados al mejoramiento de la calidad de agua para riego tienen como objetivo prevenir las obturaciones ocasionadas por microorganismos o por precipitados químicos. Estos tratamientos de agua pueden ser preventivos o de limpieza, en ambos casos con elevados costos para el productor. Los tratamientos consisten en cloración para combatir las bacterias y acidificación contra los precipitados químicos (Pizarro, 1996). En la Tabla 11 se

presenta un resumen de los tratamientos químicos preventivos y de limpieza más utilizados en sistemas de riego (Sánchez et al., 2011).

Tabla 11 Tratamientos químicos preventivos del agua de riego

Agente obturador	Tipo de tratamiento	Tratamiento-dosis
Microorganismos	Preventivo	Sulfato de cobre (0.05 – 2.0 mg * litro ⁻¹ Cloro (3 -10 ppm) durante 1 hora
Precipitados químicos	Preventivo	Ácido clorhídrico (HCl) 12 N. Cantidad necesaria para llevar el índice de Lengelier a valores inferiores a 0.

7.5 Identificación de alternativas de aprovechamiento del agua subsuperficial

El consumo de agua no potable para descarga de sanitarios y orinales en los futuros edificios del Área de Proyección y Desarrollo Cultural de la Universidad del Valle depende de tres factores: 1) cantidad de sanitarios y orinales por edificio, 2) tipo de sanitario y orinal a instalar y 3) número de veces que se descargan sanitarios y orinales por día.

Para determinar la cantidad de sanitarios y orinales de los futuros edificios se conoció la tipología de los edificios dado que aún no se cuenta con diseños arquitectónicos, así se pudo estimar que cada uno de los edificios contará con tres baterías sanitarias para hombres y tres baterías sanitarias para mujeres. El prototipo de batería sanitaria se consideró como aquella existente en los auditorios de la Facultad de Ingeniería, al no contarse con los diseños arquitectónicos.

Para determinar el consumo de agua de jardines se revisó el trabajo de investigación elaborado por Villa (2019) quien realizó un estudio de uso del agua lluvia como opción para el ahorro en el consumo de agua potable en el jardín botánico de la Universidad del valle sede Meléndez y en este se determinó que de acuerdo con las condiciones de precipitación y evapotranspiración del campus se requieren para riego de jardines 3 litros por m²*día⁻¹.

Desde el área de Planeación física de la Universidad del Valle se estimó que para el Área de Proyección y Cultura de la Universidad se tiene un área de jardines de 400 m². El consumo de agua diario en riego de jardines se calculó mediante el uso de la Ecuación 17 :

$$CAJ = A \times C$$

Ecuación 17

Donde:

CAJ: Consumo de agua de jardín (litros*día⁻¹)

A: Área en m²

Acorde con Andrade y Martínez (2014) quienes realizaron un trabajo para analizar el costo – beneficio del uso del agua lluvia como su posible reemplazo del agua potable en el lavado de pisos de la Institución Educativa Los Libertadores para edificios con áreas superficiales de 2350 m², 1405 m² y 1122 m², y el consumo día de agua para pisos fue de 1.01 m³ * día⁻¹, 0.61 m³ * día⁻¹ y 0.47 m³ * día⁻¹ respectivamente. A partir de ese estudio se estimó para el presente proyecto el consumo de agua para lavado de pisos de los edificios a construir en el Área de proyección y Desarrollo cultural de la Universidad del Valle.

Para definir el volumen necesario para la extinción de incendios en los edificios del área de proyección y desarrollo cultural consultamos los títulos J y K de la Norma NSR 10 colombiana. El primer paso fue definir el grupo de ocupación de los edificios.

De acuerdo con la norma NFPA 13 se realizó la clasificación del riesgo correspondiente a edificaciones educativas. Luego con la curva área / densidad se estableció el caudal necesario para el sistema de rociadores y el caudal por mangueras acorde a la norma. Paso seguido, se revisó la norma NFPA 22 para definir el tiempo de autonomía del sistema contraincendios, y con ese tiempo y el caudal se estimó el volumen del tanque de reserva de agua para el control y extinción del fuego.

En la Tabla 12 se presenta la secuencia de actividades necesarias para determinar el sistema de bombeo que elevará el agua desde el tanque de succión en el sótano de la Facultad de Artes Integradas hasta el tanque de almacenamiento a construir en el Área de Proyección y Desarrollo Cultural.



Tabla 12 Actividades para la determinación de un sistema de bombeo

Actividad	Criterios
Establecer esquema de distribución	Se proyecta la localización de tanques de almacenamiento, trazado de tubería presión, cuarto de bombas,
Definir caudal y tiempo de bombeo	Se propone ampliar el volumen del pozo de succión y se estable tiempo de bombeo $Q = \frac{V}{t}$
Definir diámetro de la tubería de impulsión	Revisión pérdidas de presión unitaria en función de caudal para tuberías en catálogos de fabricantes. Seleccionar de diámetro con pérdida (m/m) baja.
Calcular cabeza dinámica total del sistema	Ecuación HDT $= H_{estática} + Pérdidas por fricción en tubería$ $+ Pérdidas en válvulas y accesorios$ $+ Pérdida en entrada a tanque de almacenamiento$
Calcular pérdidas por fricción en las tuberías	Ecuación de Hazen-Williams $H_f = \frac{10,675 * Q^{1,85} * L}{C^{1,85} * D^{4,87}}$
Selección de la bomba	Revisión literatura en catálogo de fabricantes de bombas
Calcular punto real de operación	Calcular curva del sistema de tuberías e insertar con curva de bomba $H = H_{estática} + K x Q^{1,85}$

8. RESULTADOS

8.1 Estimación del caudal sub superficial

Para estimar el caudal, se aforó el sistema de bombeo existente midiendo el tiempo de llenado de un tanque con volumen de 228.8 litros. Se realizaron diez mediciones de tiempo de llenado en segundos. En la Tabla 13 se presentan el caudal promedio entregado por la bomba existente.

Tabla 13 Resultados de medición del caudal promedio de bomba

Volumen (litros)	T (seg)	C (l*seg ⁻¹)	Q (l*min ⁻¹)	Q promedio (l*min ⁻¹)
228.80	20.14	11.36	681.63	681.33
228.80	20.33	11.25	675.26	
228.80	19.59	11.68	700.77	
228.80	20.39	11.22	673.27	
228.80	20.35	11.24	674.59	
228.80	20.19	11.33	679.94	
228.80	20.12	11.37	682.31	
228.80	20.15	11.35	681.29	
228.80	20.10	11.38	682.99	
228.80	20.15	11.35	681.29	

Este resultado concuerda con lo reportado en la Tabla 14, donde se reporta que el caudal de la bomba instalada oscila entre 600 y 700 L/min cuando la presión varía entre 2 y 4.5 m.

Tabla 14 Especificaciones técnicas de la bomba existente, fuente: adaptado de (CODESOLAR, 2022)

Tipo		Potencia		Q(m ³ /h) o l / min	0	6	12	18	21	24	30	36	42	48
Monofásica	Trifásica	kW	Hp		0	100	200	300	350	400	500	600	700	800
VXCm 10/50	VXC 15/50	1.1	1.5	H (metros)	11.5	10.5	9.5	8.2	7.2	6.5	4.5	2		
VXCm 20/50	VXC 20/50	1.5	2		13	12	11	9.5	9	8	6.5	4.5	2	
VXCm 30/50	VXC 30/50	2.2	3		16	15	14	13	12.3	11.5	10	8	5.9	3.3
VXCm 15/70	VXC 15/70	1.1	1.5		6.5	-	5.5	4.7	4.4	3.7	3	2.2	1.5	1
VXCm 20/70	VXC 20/70	1.5	2		8.5	-	7.4	6.7	6.3	6	5.2	4.5	3.6	2.8
VXCm 30/70	VXC 30/70	2.2	3		11	-	9.7	9	8.6	8.2	7.5	6.7	5.8	5

Acorde con la placa encontrada en la bomba sumergible el equipo corresponde a la bomba VXC 20/50 de la marca Pedrollo, la cual se presenta en la Figura 6.



Figura 6 Placa de la bomba existente

Teniendo en cuenta el funcionamiento de la bomba para un periodo de 24 horas y el caudal de la bomba, se determinó el volumen diario bombeado hacia el sistema de alcantarillado, tales resultados se presentan en la Tabla 15.



Tabla 15 Volumen diario bombeado hacia el alcantarillado

Día	Intervalo (horas)	No. de encendidos de la bomba	Duración de cada encendido (minutos)	Q de la bomba ($l^* min^{-1}$)	Caudal de bombeo ($m^3 d^{-1}$)
11/10/2022		39		681.3	
	24		211.9		144.4
13/10/2022					
	24			681.3	
13/10/2022		17	89.2		60.8
14/10/2022					
15/10/2022	24	30	160.6	681.3	109.4
15/10/2022				681.3	
16/10/2022	24	28	134		91.3
16/10/2022				681.3	
17/10/2022	24	31	157.2		107.1
17/10/2022				681.3	
18/10/2022	24	25	122.4		83.4
18/10/2022				681.3	
19/10/2022	24	36	175.2		119.4
19/10/2022				681.3	
20/10/2022	24	59	306.4		208.7
20/10/2022				681.3	
21/10/2022	24	36	168.6		114.9
21/10/2022				681.3	
22/10/2022	24	31	140.7		95.9
31/10/2022				681.3	
1/11/2022	24	71	309.3		210.7
1/11/2022				681.3	
2/11/2022	24	59	248.4		169.2
2/11/2022				681.3	
3/11/2022	24	55	228.2		155.5
8/11/2022				681.3	
9/11/2022	24	102	550.9		375.3
9/11/2022				681.3	
10/11/2022	24	102	445.5		303.5
15/11/2022				681.3	
16/11/2022	24	110	464.4		316.4
16/11/2022				681.3	
17/11/2022	24	119	570.9		388.9
17/11/2022				681.3	
18/11/2022	24	65	1049.3		714.9
23/11/2022				681.3	
24/11/2022	24	110	443.8		302.3
24/11/2022					
25/11/2022	24	101	394.0	681.3	268.4
25/11/2022					
26/11/2022	24	111	428.4	681.3	291.9
26/11/2022					
29/11/2022					
30/11/2022	24	92	345.9	681.3	235.7
30/11/2022					
01/12/2022	24	90	329.3	681.3	224.4
01/12/2022					
02/12/2022	24	94	346.8	681.3	224.4

Se tomaron 24 registros diarios de los volúmenes de agua evacuados al alcantarillado por el equipo de bombeo; con base en esos datos se calculó el volumen de agua que la bomba extrae cada día.

De acuerdo con Ledesma (2008) la técnica Bootstrap es una técnica de re-muestreo que permite resolver problemas relacionados con la estimación de determinado parámetro. De la misma manera, permite establecer intervalos de confianza. López Jáuregui & Elosua (2004) plantean que el enfoque Bootstrap es aplicado en situaciones en las que no se dispone de información acerca de la distribución muestral de un estadístico.

Utilizando el software R para desarrollar el bootstrapping, en primera instancia se tomó una muestra con reemplazo de los 24 datos de volumen de agua y se replicó dicho proceso 10000 veces, obteniendo así un vector de medias de dimensión 1×10000 . En la Figura 7 se presenta la distribución de frecuencias de las medias y se observó una distribución simétrica, además, se cumple el teorema del límite central, el cual permite aproximar la distribución de probabilidad del mensurando por una distribución normal (Llamosa & Gómez, 2009).

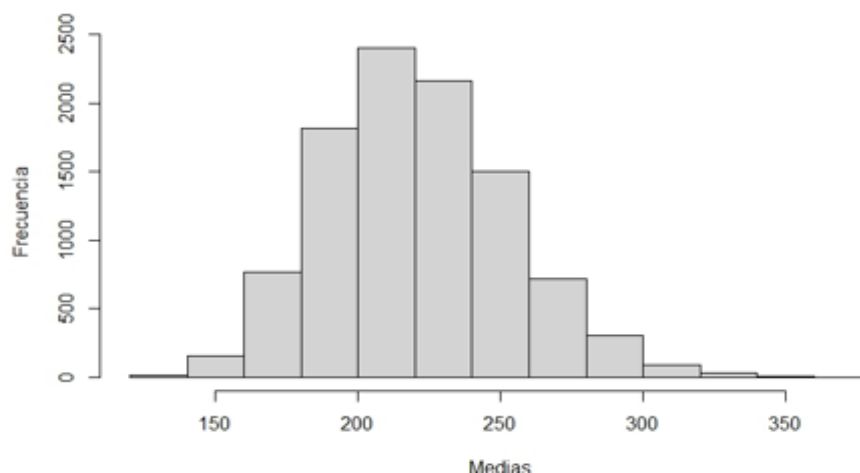


Figura 7 Histograma de frecuencia de medias

Posteriormente se obtuvo que el estimador puntual del volumen medio de agua fue de $220.7 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ y un intervalo de confianza del 95% para el estimador de volumen medio de agua entre ($163.7 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, $289.8 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$).

8.2 Estimación de la calidad del agua

En la Tabla 16 se presentan los resultados de la calidad del agua acorde a resultados del laboratorio de calidad de agua. Con los valores de los parámetros se estimó el ICA, considerando la Ecuación 16 y los resultados se presentan en la Tabla 17.

Tabla 16 Resultados pruebas fisicoquímicas y microbiológicas

Parámetro	Resultado	Parámetro	Resultado
pH	6.7 unidades	Dureza cálcica	61.8 mg CaCO_3/L
Color	<5 UPC	Sulfatos	18.1mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$
Turbiedad	1,5 NTU	Temperatura	23,6°C
Conductividad eléctrica	265 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Hierro total	<0.10 mg Fe/L
Alcalinidad	97.1 mg CaCO_3/L	Manganeso total	0.151 mg Mn/L
Dureza total	162 mg CaCO_3/L	Ortofosfatos	<0.0473
Cloruros	12.1 mg Cl^-/L	Oxígeno disuelto	2.87 mg O_2/L
Coliformes fecales	>1600 NMP/100ml	Coliformes totales	>2420 NMP/100ml

Tabla 17 Estimación del ICA

Parámetro	I	W	I*W	ICA
pH	100	1	100	42.4
Color	76.5	1	76.5	
Turbiedad	100.5	0.5	50.2	
Conductividad eléctrica	65.2	2	130.3	
Alcalinidad	44.8	2	89.7	
Dureza total	49.2	1	49.2	
Fósforo	139.3	1	139.3	
Cloruros	69.4	2	138.8	
Oxígeno disuelto	22.0	5	110	
Coliformes fecales	11.9	3	35.7	
Coliformes totales	8.6	4	34.4	

Los resultados indican que el ICA es de 42.4, correspondiente a una calidad de agua contaminada, acorde a la clasificación presentada en la Tabla 9. Para usos como el de riego de jardines y lavado de pisos en los que la posibilidad de contacto humano con el agua contaminada es alta, deben seguirse las indicaciones que hace la norma NTC 1500-2020 capítulo 13, para uso de agua no potable.

Para mitigar el impacto que los agentes contaminantes presentes en el agua puedan tener en la salud humana se planteó la implementación de un sistema de tratamiento del agua conformado por filtro de grava de flujo ascendente y una cámara para la dosificación de cloro (Sánchez et al., 2011).

El caudal de entrada al tanque de almacenamiento fue de 3,2 $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ (ver anexo 12.2). Este caudal percola verticalmente a través del lecho de grava, para ser colectado



en el fondo por un sistema de drenaje que lo conduce a la siguiente etapa del tratamiento, la desinfección.

Para el presente proyecto se consideró una velocidad de filtración de 0.7 m/hora de acuerdo con lo propuesto por Sánchez et al. (2016)

Para facilitar las actividades de operación y mantenimiento, se consideraron dos unidades operando en paralelo, con actividades de mantenimiento escalonados.

El área superficial de la unidad A_s se condiciona por el caudal de diseño 3,2 litros $\cdot s^{-1}$, y la velocidad de filtración 0.7 $m \cdot h^{-1}$, para calcular el área superficial del filtro se utilizó la Ecuación 18.

$$A_s = \frac{Q_{diseño}}{V_{filtración}}$$

Ecuación 18

$$A_s = \frac{3,2 \frac{\text{litros}}{\text{segundo}}}{0,7 \frac{\text{metros}}{\text{hora}}} = \frac{11,52 \frac{m^3}{hora}}{0,7 \frac{\text{metros}}{\text{hora}}} = 16,45 m^2$$

Para la construcción se adoptan dos filtros de 3.6 metros por 3.6 metros cada uno. Para desinfectar el agua del sistema de abastecimiento, se proyecta una cámara de contacto de cloro en la cual se dará la mezcla y el tiempo necesario de contacto (30 minutos) entre el cloro y el agua para garantizar la protección del agua durante su permanencia en la red de distribución.

Se proyecta una estructura baja con dos baffles (3 vueltas) para garantizar el tiempo de contacto. Para el dimensionamiento de la cámara de contacto se tienen los siguientes criterios.

Caudal= 0.0025 $m^3 \cdot \text{segundo}^{-1}$

Tiempo de contacto= 30 minutos= 1800 segundos

Para calcular el volumen de la cámara de cloración se utilizó la Ecuación 19.

$$V_{\text{cámara}} = \text{Caudal} \times \text{tiempo de contacto}$$

Ecuación 19

$$V_{\text{cámara}} = 0.0032 \frac{\text{m}^3}{\text{segundo}} * 1800 \text{ segundos} = 5,76 \text{ m}^3$$

Se adopta un nivel de agua de 1.00 metro. El Área superficial de la cámara de cloración se calculó con la Ecuación 20.

$$\text{Área de cámara} = \frac{\text{Volumen de agua}}{\text{Nivel de agua}}$$

Ecuación 20

$$\text{Área de cámara} = \frac{5,76 \text{ m}^3}{1.0 \text{ m}} = 5,76 \text{ m}^2$$

Para el caudal de diseño se debe usar una concentración de hipoclorito de sodio al 2%. Dosis máxima de cloro de 3 ppm. En la Figura 8 se presenta el esquema de los tanques de almacenamiento y la ubicación de los filtros en grava y cámara de contacto de cloro.

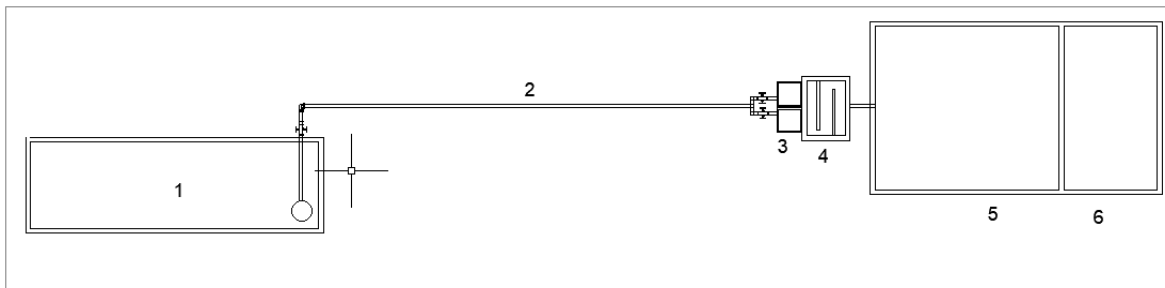


Figura 8 esquemas en planta de tanques de almacenamiento y sistema de tratamiento

- 1.- Tanque de almacenamiento de agua no potable 27 m³ ubicado en sótano FAI.
- 2.- Tubería PVC-P 2" para llevar agua a futura área de proyección y desarrollo cultural.
- 3.- Filtros en grava para mejorar calidad de agua.
- 4.- Tanque de contacto de cloro.
- 5.- Tanque de almacenamiento de agua no potable 17 m³ ubicado en área de proyección y desarrollo cultural (APDC).
- 6.- Cuarto de bombas

8.3 Alternativas de aprovechamiento

En la Figura 9 se presenta el esquema general de aprovechamiento del agua sub superficial que ofrece el sub suelo en el sótano de los edificios de la Facultad de



Artes Integradas. En las figuras posteriores presentaremos de manera detallada los esquemas de aprovechamiento del agua para los diferentes usos de acuerdo con los objetivos del proyecto.

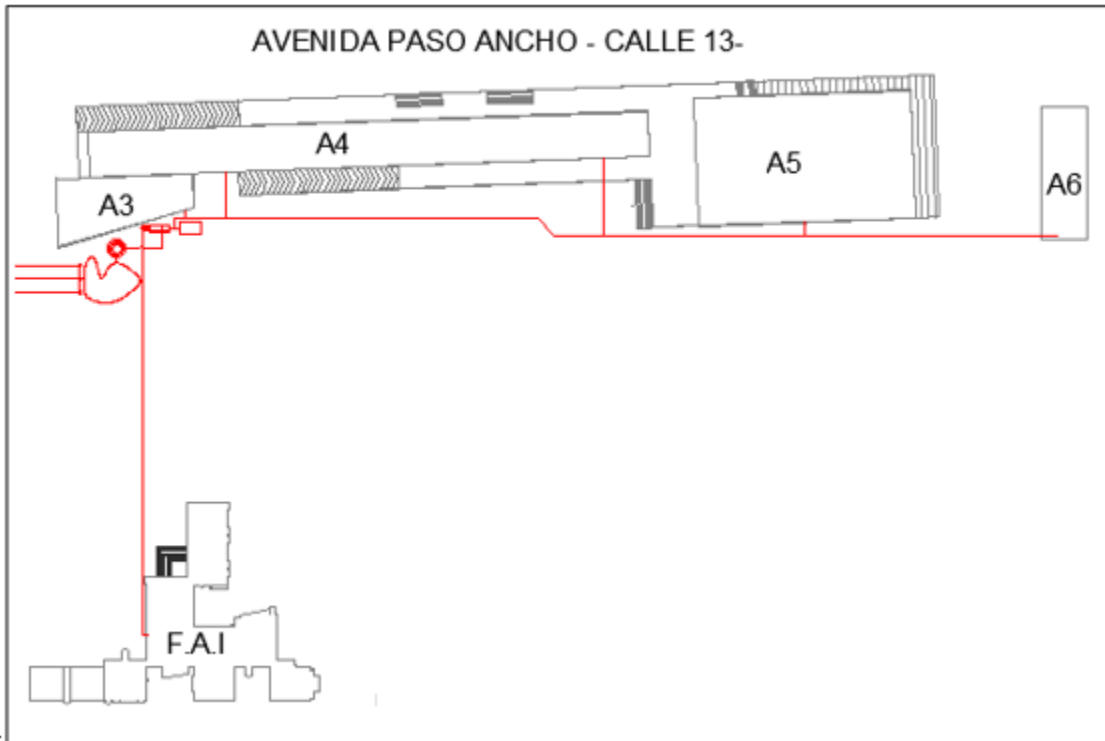


Figura 9 Esquema general de usos de agua

F.A.I.- Facultad de Artes Integradas.

A3.- Futuro Museo y Galería.

A4.- Futuro Centro Cultural e Idiomas.

A5.- Futuro Centro de Eventos y Exposiciones.

A6.- Futura Ampliación Servicio Médico.

En la Figura 10 se muestra el esquema propuesto para el uso del agua en almacenamiento para combatir incendios en los futuros edificios del área de proyección y desarrollo cultural.

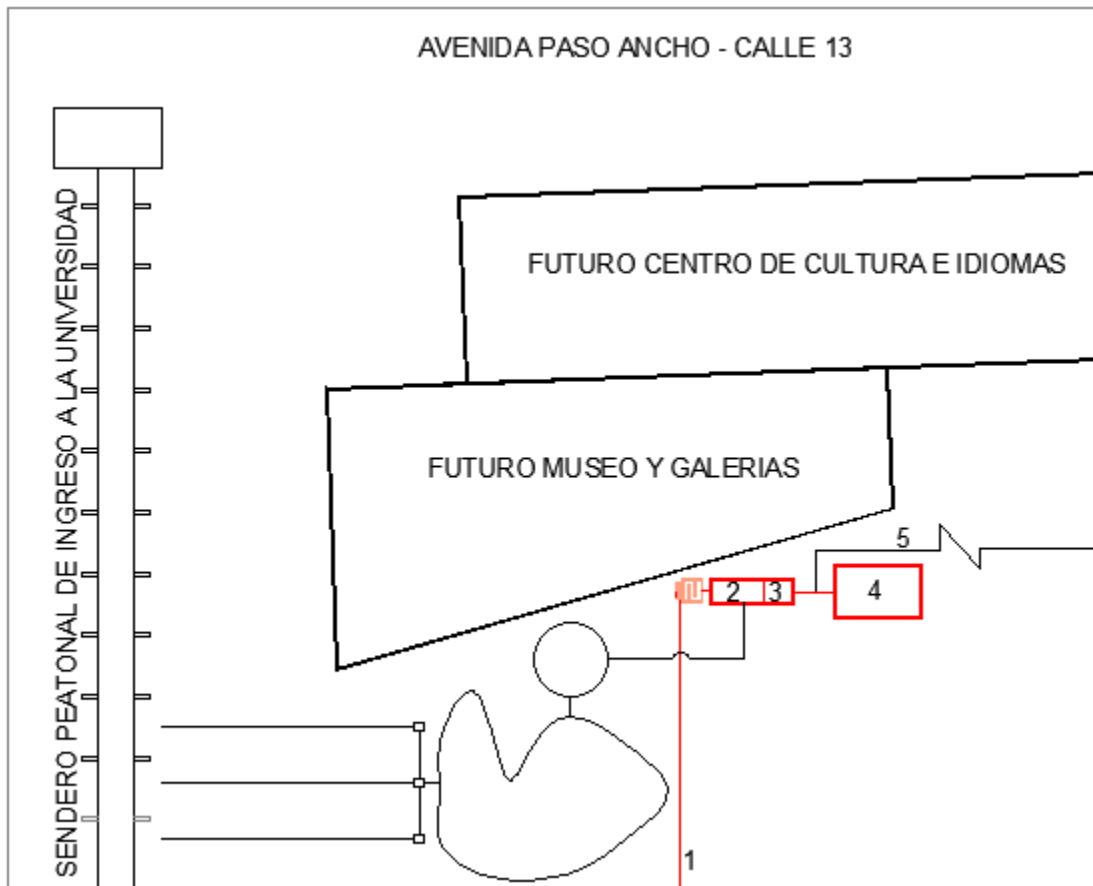


Figura 10 esquema de uso de agua no potable para almacenamiento en tanque del sistema contraincendios

- 1.- Viene agua cruda del sótano de la Facultad de Artes Integradas.
- 2.- Tanque de almacenamiento de agua no potable 27 m³.
- 3.- Cuarto de bombas agua no potable.
- 4.- Tanque de almacenamiento de agua para sistema contraincendios 120 m³.
- 5.- Tubería para distribuir agua no potable en los futuros edificios.

En la Figura 11 se presenta el manejo que se plantea para el agua de rebose del tanque de almacenamiento, proyectando un nuevo uso con fines ornamentales y paisajísticos.

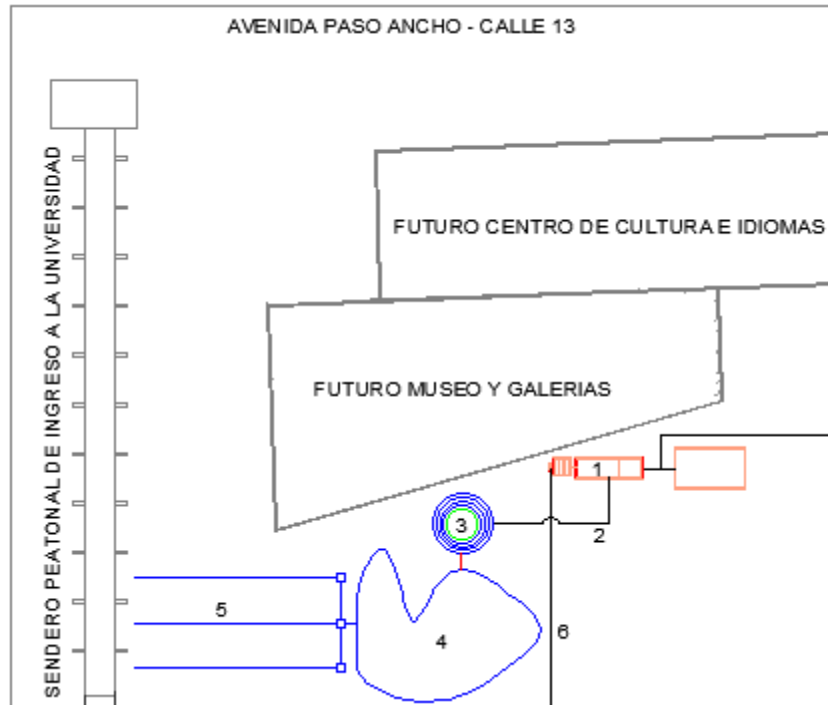


Figura 11 esquema de uso de agua no potable para uso ornamental y recarga de nivel freático

- 1.-Tanque de almacenamiento de agua no potable 27 m³
- 2.-Tubería de rebose del tanque de almacenamiento
- 3.-Fuente ornamental proyectada
- 4.-Humedal proyectado
- 5.-Campo de infiltración proyectado
- 6.-Viene agua cruda del sótano de la Facultad de Artes Integradas

Cabe destacar que los diseños y especificaciones de la fuente ornamental, el humedal y el campo de infiltración deben ser dimensionados en los diseños arquitectos definitivos de los edificios.

En la Figura 12 se muestra la red de distribución que abastece de agua no potable a los edificios del área de proyección y desarrollo cultural para los usos en baterías sanitarias, riego de jardines y lavado de pisos.

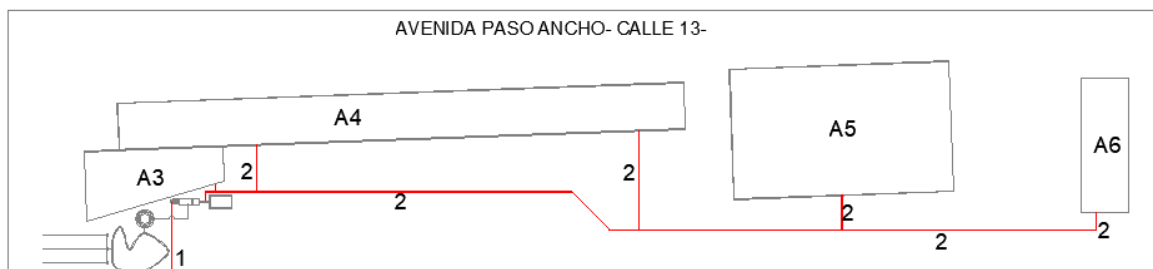


Figura 12 esquema de uso de agua no potable para usos en descarga de sanitarios, orinales, lavado de pisos y riego de jardines

A3.- Futuro Museo y Galeria

A4.- Futuro Centro Cultural e Idiomas

A5.- Futuro Centro de Eventos y Exposiciones

A6.- Futura Ampliación Servicio Médico

1.- Viene agua cruda del sótano de la Facultad de Artes Integradas

2.- Tubería de distribución de agua no potable para los servicios sanitarios, riego y lavado de pisos.

En la Tabla 18 se presenta por edificio proyectado las baterías sanitarias de hombre y mujer según lo definido por el Área de Planeación Física de la Universidad del Valle.

Tabla 18 Baterías Sanitarias proyectadas para los nuevos edificios

Edificio proyectado	Baterías sanitarias hombre	Baterías sanitarias mujer
Edificio A3 (museo y galerías)	3	3
Edificio A4 (Centro de Cultura e Idiomas)	3	3
Edificio A5 (Centro de eventos y exposiciones)	4	4
Edificio A6 (Servicio Médico)	3	3

De acuerdo con lo anterior se proyecta que los edificios de Proyección y Desarrollo Cultural tendrán 12 sanitarios, 12 orinales y 12 grifos para aseo. Respecto al tipo de sanitarios y orinales la Oficina de Planeación de la Universidad del Valle proyecta instalar sanitarios y orinales del tipo antivandálico. Se consultaron las fichas técnicas de orinales y sanitarios antivandálicos para determinar el consumo de agua por cada descarga.

En la Figura 13 se presentan los consumos de sanitarios tipo antivandálicos, donde se muestran las presiones de funcionamiento y el consumo en litros.

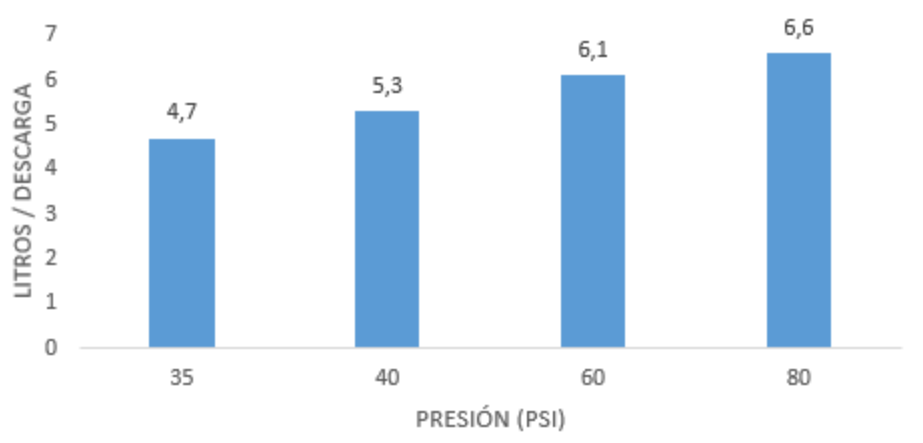


Figura 13 Consumo de agua en sanitarios Corona Antivandálicos tipo Corona fuente: (Corona, 2021)

Así se pudo estimar un consumo de 4.7 litros por descarga para sanitarios y 0.5 litros para orinales anti vandálicos de acuerdo con el catálogo del fabricante para los edificios proyectados. La estimación del número de descargas por día se realizó mediante el conteo de los usos de sanitarios y orinales en una batería sanitaria con alta rotación, para ello se seleccionaron las baterías sanitarias de los auditorios de la Facultad de Ingeniería.

Los resultados de las descargas de la batería sanitaria de hombres se presentan en la Tabla 19 y el de la batería sanitaria de mujeres en la Tabla 20.

Tabla 19 Conteo de descargas de baterías sanitarias de hombres en el auditorio del edificio E24 de la Facultad de Ingeniería

Fecha	Hora	Descargas sanitario	Descargas orinales
1 de noviembre 2022	13:10-14:10	16	18
3 de noviembre 2022	13:10-14:10	15	19
8 de noviembre 2022	13:10-14:10	12	14
10 de noviembre 2022	13:10-14:10	14	17
15 de noviembre 2022	13:10-14:10	15	19
17 de noviembre 2022	13:10-14:10	13	16
21 de noviembre 2022	13:10-14:10	22	26
23 de noviembre 2022	13:10-14:10	14	16
25 de noviembre 2022	13:10-14:10	17	19
29 de noviembre 2022	13:10-14:10	16	18
Promedio		16	18

Tabla 20 Conteo de descargas de baterías sanitarias de mujeres en el auditorio del edificio E24 de la Facultad de ingeniería

Fecha	Hora	Descargas sanitario
2 de noviembre 2022	13:10-14:10	23
4 de noviembre 2022	13:10-14:10	21
9 de noviembre 2022	13:10-14:10	25
11 de noviembre 2022	13:10-14:10	22
16 de noviembre 2022	13:10-14:10	29
18 de noviembre 2022	13:10-14:10	26
22 de noviembre 2022	13:10-14:10	22
24 de noviembre 2022	13:10-14:10	23
28 de noviembre 2022	13:10-14:10	23
30 de noviembre 2022	13:10-14:10	21
Promedio		24

Lo anterior da cuenta que las mujeres tienen mayor número de descargas en el sanitario, sin embargo, para la batería sanitaria de los hombres se tiene en cuenta la descarga por el uso de los orinales, lo cual evidencia que requiere una mayor demanda de agua. Las estimaciones de agua se realizaron con un valor promedio 16 descargas para el sanitario y 18 descargas para los orinales en el caso de los hombres y 21 descargas sanitarias de las mujeres. Se consideraron 15 horas de funcionamiento de cada edificio (6:30 am – 9:30 pm); de esa forma los resultados de consumo diario se presentan en la Tabla 21:

Tabla 21 Consumo diario estimado de agua no potable (litros) en los edificios del área de cultura

Uso	Criterio para estimar consumo diario de agua								
	Baterías sanitarias			Riego de jardín					
	D	VUD	DDAN	A	DR	DDR	CE	DALP	DDLp
Sanitarios hombres	3120	4.7	14.664						
Sanitarios damas	4875	4.7	21.996						
Orinales	3510	0.5	1.755						
Riego de jardines				400	3	1.200			
							4	1000	4000

D: (descargas/hora * 16 horas*número de baterías); VUD: Volumen unitario por descarga (litros); DDAN: Demanda diaria de agua no potable en baterías sanitarias; A: Área de jardines (m²); DR: Demanda de riego (l*m²*día); DDR: Demanda diaria para riego (litros); CE: Cantidad de edificios; DALP: Demanda de agua para lavado de piso por edificio (litros); DDLp: Demanda diaria para lavado de pisos (litros).

En la Tabla 22 se presenta el consumo diario estimado de agua para los futuros edificios del área de cultura.

Tabla 22 Consumo diario estimado de agua no potable en los edificios del área de cultura

Actividad	Consumo (litros)
Descarga en orinales	1755
Descarga en sanitarios hombres	14664
Descarga en sanitarios mujeres	21996
Riego de jardines	1200
Lavado de pisos	4000
Total	43615

La Tabla 22 indica que la demanda total de agua no potable para los edificios del Área de Proyección y Cultura de la Universidad del Valle es de 43615 litros o 43.61 m³ por día.

El numeral J.4.3.4 de la norma NSR 10 expresa que los edificios clasificados en subgrupo I3 con área total construida superior a 2000 m² deben estar protegidos por un sistema de incendios con rociadores automáticos. Adicionalmente debe contar con tomas fijos de agua para bomberos.

Este subgrupo se clasifica en la norma NFPA 13 como riesgo leve o ligero.

El numeral 5-2.3.1.2 de la norma NFPA 13 establece que el suministro de agua empleado exclusivamente para rociadores debe determinarse a partir de las curvas área/densidad de acuerdo con la Figura 14.

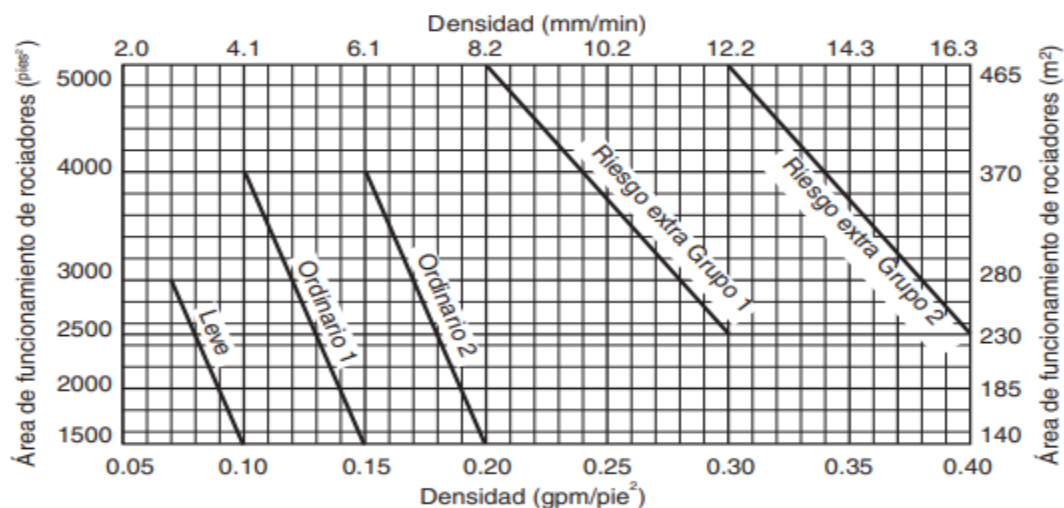


Figura 14 Diagrama área/densidad para rociadores, fuente: (NFPA, 2019)

De lo anterior se observa que el caudal de agua requerido para riesgo leve o ligero se puede hallar a partir de la Ecuación 21.

$$Q = Area \times Densidad$$

$Area = en\ pie^2$

$$Densidad = \frac{galones\ por\ minuto}{pie^2}$$

Reemplazando los valores correspondientes a riesgo leve, se obtuvo:

$$Q = 1500\ pie^2 \times 0.10 \frac{galones \times minuto}{pie^2} = 150\ gpm$$

En la Tabla 23 se presentan los requisitos para demanda de chorros de manguera y duración del suministro de agua acorde con el riesgo de la edificación.

Tabla 23 caudal de chorros de manguera y duración del suministro de agua según la clasificación del riesgo, fuente: (NFPA, 2019)

Clasificación de la ocupación	Mangueras interiores (gpm)	Total considerando las mangueras interiores y exteriores (gpm)	Duración en minutos
Riesgo leve	0, 50, o 100	100	30
Riesgo ordinario	0, 50, o 100	250	60-90
Riesgo extra	0, 50, o 100	500	90-120

La Tabla 23 indica que se requieren 100 gpm para mangueras durante 30 minutos. El caudal total que el sistema contraincendios de cada edificio debe suplir es de 250 gpm (150 gpm para rociadores y 100 gpm para chorros de manguera). En la Tabla 24 se presenta el volumen necesario para combatir los incendios en los cuatro edificios proyectados, de acuerdo con los resultados reportados en los anexos.

Tabla 24 Volumen de agua en tanque de almacenamiento del sistema de protección contra incendios

Cantidad de edificios	Caudal por edificio (GPM)	Tiempo de respuesta del sistema (minutos)	Volumen en galones por cada edificio	Volumen total para los cuatro edificios
4	250	30	7500	30.000 galones 113.52 m ³

8.4 Calculo del sistema de bombeo

En el anexo 12.2 se presenta el cálculo del sistema de bombeo para suministro de agua no potable para los edificios del área de proyección y desarrollo cultural. La curva de bomba versus la curva del sistema se presenta Figura 15.

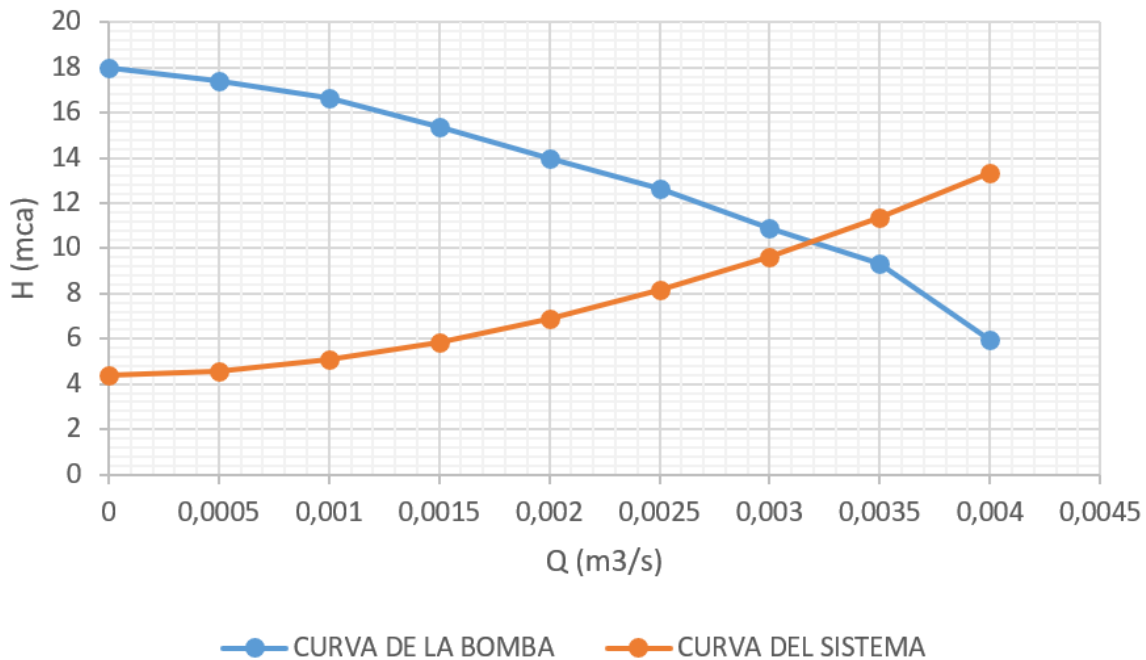


Figura 15 Curva de la bomba Vs Curva del sistema

La bomba seleccionada para el proyecto de acuerdo con los cálculos presentados en el anexo 12.2, es una bomba sumergible marca Barnes modelo NTE-3-10-1-2-110. El sistema de bombeo en el punto de operación muestra una eficiencia de del 56%, el caudal y la cabeza dinámica total es de 10.4 m y un caudal de 3,2 L/s para una potencia de la bomba de 0,78 Hp.

8.5 Estimativo de costos del proyecto

Teniendo en cuenta que este sistema requiere costos de inversión, operación y mantenimiento a través del tiempo, se hizo un estimativo de costos para revisar la viabilidad de implementar el aprovechamiento del agua subsuperficial. Los costos de inversión incluyeron: los costos para la construcción de la ampliación del pozo de succión, suministro e instalación de la bomba sumergible, el sistema eléctrico, la instalación de la tubería de impulsión, el sistema de tratamiento y cloración y el tanque de almacenamiento superior. Los costos de operación y mantenimiento incluyeron los costos relacionados con el consumo de energía eléctrica, costos de personal para mantenimiento y el mantenimiento periódico de equipos. Los detalles de cantidades y costos, así como el análisis de costos se presentan en el Anexo 12.3. El análisis comparó los costos totales de este proyecto a cinco años versus el suministro de agua desde la red de EMCALI para los servicios de sanitarios, riego y lavado de pisos en los que incurriría los futuros edificios. Revisando costo por metro cubico de agua en ambas condiciones.

En la Tabla 25 se presenta el resultado del análisis de costos del proyecto, en el cual se evidencia que el proyecto es viable dado que se alcanza una TIR positiva del

88% y una relación costo beneficio superior a 1 llegando a 2,8 en el quinto año de operación. En el anexo 12.3 se muestra que, a partir del segundo año de operación, el proyecto empieza a generar ahorro para la Universidad. En la Tabla 26 se presentan los costos comparativos por metro cubico de agua, para el aprovechamiento del agua subsuperficial el costo fue de \$ 627/m³; mientras que, el suministrado por EMCALI es de \$5692 considerando suministro de agua y alcantarillado.

Tabla 25 Análisis de costos proyectado a 5 años

Suministro de agua	0	1	2	3	4	VPF	VPN	TIR	B/C
Proyecto de aprovechamiento del agua sub superficial del sótano de la Facultad de Artes Integradas	\$61.651.062	\$58.836.972	\$58.836.972	\$58.836.972	\$58.836.972	\$170.593.970	\$95.363.190	88%	2,77
Con EMCALI	\$-66.118.272	\$-66.118.272	\$-66.118.272	\$-66.118.272	\$-66.118.272	\$-191.705.625	\$-167.809.546		

Tabla 26 Costo anual de metro cubico considerando las dos condiciones de servicio

Tarifa acueducto EMCALI por m ³	Tarifa alcantarillado EMCALI por m ³	m ³ cúbicos aprovechados al año	Costo total año m ³ EMCALI
\$ 2.663	\$ 3.029	\$ 11.616	\$ 66.118.272
			Costo total año m ³ proyecto aprovechamiento agua subsuperficial
\$ 627	\$ -	\$ 11.616	\$ 7.281.300

9. CONCLUSIONES

Este trabajo de grado analizó el potencial uso de agua subsuperficial en edificaciones urbanas. El subsuelo de la FAI tiene agua disponible para ser usada como agua no potable de uso institucional en otros edificios de la Universidad del Valle proyectados en el Área de Proyección y Desarrollo Cultural.

El volumen promedio diario ofertado para el potencial sistema de suministro de agua subsuperficial del sótano de la FAI fue de 220,71 m³/día y supera ampliamente la demanda de agua no potable para usos en los edificios del Área de Proyección y Desarrollo Cultural de la Universidad del Valle.

Los resultados demuestran que el volumen estimado de agua para usos que no requieren agua potable es de 44 m³/día y puede ser aprovechada para los futuros edificios del Área de Proyección y Desarrollo Cultural para descarga de sanitarios y orinales. El volumen de agua estimado para riego de jardines fue de 1.2 m³/día, mientras que, el volumen de agua requerido para lavado de pisos fue de 4.0 m³/día.

Otros usos que pueden ser aprovechables corresponden al sistema de protección contra incendios cuyo volumen estimado fue de 113.5 m³. Este volumen regularmente se debe dejar disponible al inicio de la puesta en marcha del edificio. El volumen requerido para el mantenimiento de los edificios fue de 44 m³/día.

Es necesario aprovechar fuentes de agua de diferente calidad, de acuerdo con los usos, de tal forma que promueva la sostenibilidad en el uso del recurso y no se ponga en riesgo la salud humana. Varios usos del agua no requieren agua potable sino agua segura, es decir agua limpia y con baja contaminación. Algunos usos como el lavado de pisos no requieren agua de calidad, lo mismo que el vaciado de inodoros.

De acuerdo con el resultado del Índice de Calidad de Agua, el agua proveniente del subsuelo de la FAI puede ser usada sin inconveniente en la descarga de inodoros y orinales, también para el llenado de los tanques de almacenamiento del sistema contraincendios. Para las labores de riego y limpieza se evidencia la necesidad de tratamiento con filtración y desinfección, y cumplir con lo requerido para uso de agua no potable acorde con la norma NTC 1500.

Este trabajo es relevante para la Oficina de Planeación de la Universidad y los diferentes esquemas de suministro planteados pueden ser considerados en el proceso de diseño arquitectónico de los futuros edificios del Área de Proyección y Desarrollo Cultural de la Universidad del Valle.

El análisis de costos del proyecto evidenció que el aprovechamiento del agua subsuperficial es viable dado que se alcanza una TIR positiva del 88% y una relación costo beneficio superior a 1, llegando a 2,8 en el quinto año de operación. A partir del segundo año de operación, el proyecto empieza a generar ahorro para la

Universidad, con un valor de \$ 627/m³ para el agua subsuperficial y \$5692/m³ por el suministro de EMCALI considerando agua y alcantarillado.

10. RECOMENDACIONES

Estudiar la viabilidad técnica y económica para que el sistema de bombeo calculado en este trabajo opere con provisión de energía solar, por ser esta una energía renovable, inagotable y abundante.

Adelantar futuros estudios de costo / beneficio y de análisis financiero para extender la idea de uso de agua subsuperficial no potable para descarga de sanitario, orinales; riego de jardines y lavado de pisos en todos los edificios de la Universidad del Valle.

Complementar con un estudio de oferta y calidad hídrica del agua de infiltración en el sótano de la FAI en las diferentes épocas de lluvia o estiaje del año.

Para el uso en riego de jardines y lavado de pisos los grifos deben ser identificados de forma permanente como salida no potable, mediante una señalización aprobada que diga lo siguiente: "Precaución, Agua No Potable. No Beber". Las palabras deben ser impresas en forma indeleble en una etiqueta o señal construida de material resistente a la corrosión e impermeable, o deben ser impresas en forma indeleble en el aparato. Las letras de estas palabras deben tener una altura mínima de 13 mm (0.5 pulgadas) y deben tener un color que contraste con el fondo en el cual están escritas.

El diseño de los futuros edificios considerar las zanjas de infiltración para captar el agua de rebose del tanque de almacenamiento y permitir de nuevo la recarga de agua subterránea, sin desviar el agua al sistema de alcantarillado.

11. REFERENCIAS

- Aguilar-Barajas, I., Mahlkecht, J., Kaledin, J., Kjellén, M., & Mejía, A. (2015). Agua y Ciudades en América Latina (1st ed.). <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Agua-y-ciudades-en-América-Latina-Retos-para-el-desarrollo-sostenible.pdf>
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2008). Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. Agroecología, 3, 7–24.
- Amaya, C. (2018). Selección de un índice físico-químico de calidad de agua superficial aplicable a arroyos del sur de la provincia de Santa Fe.
- Andrade, C., & Martínez, O. (2014). Modelo costo-beneficio de la posible implantación de un sistema de captación de aguas lluvia en la institución educativa fundación universitaria los libertadores [Fundación Universitaria los libertadores]. https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/2989/Espinosa_Cristian_Porras_Oscar_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arango, Á. (2013). Crisis mundial del agua. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552013000200001
- Arias, S., & Seminario, L. (2022). Influencia de la calidad del agua sobre la diversidad de macroinvertebrados marinos de la playa punta Barandúa, Mansito, Punta Carnero y la Diabolica. Provincia de Santa Elena - Ecuador mediante la metodología ICA [Universidad estatal península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/8835/UPSE-TBI-2022-0030.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Arrojo, P. (2008). La nueva cultura del agua siglo XXI. https://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/cajaAzul/palabras/Arrojo_ES.pdf
- Barmesa. (2017). Bomba sumergible. https://hidrotecnicanacional.com/descargables/ficha-tecnica_2ahs_mx.pdf
- BARNES. (2017). BOMBAS AGUAS RESIDUALES Para Achique NTE 2 5-1-2-110 / NTE 3 10-1-2-110. <https://www.barnes.com.co/wp-content/uploads/2021/02/Ficha-tecnica-NTE-2-5-1-2-110.pdf>
- Barrera, I. I. (2022). Adaptación del índice de calidad de agua (ICA-CONAGUA) para la evaluación comunitaria de fuentes hídricas en la Microcuenca Rio Ventura, Departamento de Rio San Juan, 2021-2022 (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria, Managua (Nicaragua)).
- Boyacioglu, H. (2007). Development of a water quality index based on a European classification scheme. Water SA, 33(1). http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/12879/1/TESIS MGA 003_FELIX BOBADILLLA_FINAL Corregido.pdf
- Buritica Ramirez, Y., & Muñoz Gonzalez, D. (2021). Uso de aguas subterráneas y aguas lluvias en aparatos sanitarios [Universidad catolica de Colombia].

https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/27051/1/506953_Muñoz_506129_Buritica.pdf

- CODESOLAR. (2022). Especificaciones técnicas. https://www.codesolar.com/Energia-Solar/DOWNLOAD/Codesolar_Pedrollo_VXC.pdf
- Debels, P., Urrutia, R., Barra, R., & Niell, X. (2005). Evaluación de la calidad del agua en el río Chillán (Chile central) utilizando parámetros fisicoquímicos y un índice de calidad del agua modificado. *Monitoreo y Evaluación Ambiental*, 110(1), 301–322
- Del Pozo, J., Camuñas, C., & Mejías, M. (2016). La Cultura de las Motillas de La Mancha: El aprovechamiento del agua subterránea en la Prehistoria. IGME. https://www.igme.es/actividadesigme/lineas/HidroyCA/HidroGeoAr/Publicaciones/del_Pozo_et_al.,_2016_Texto_Congreso_SEDPGYM.pdf
- Espinosa Gutierrez, G., Mareike Evers, P., Otterpohl, R., Paredes Limas, J., Zambrano Cárdenas, R., & Gónzales Torres, L. (2015). Evaluación de las infiltraciones al sistema de drenaje mediante análisis comparativo de concentración de contaminación en agua residual. Caso de estudio en Tepic, México. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 31(1), 1–11. <https://www.redalyc.org/pdf/370/37036860007.pdf>
- Fernandez, N., & Solano, F. (2005). Índices de calidad y de contaminación de agua.
- Gamboa, D. (2016). Flujo de Fluidos- CRANE. https://www.academia.edu/38502455/Flujo_de_Fluidos_CRANE
- Gómez Español, A. (2012). Caracterización hidráulica del acuífero de la zona plana del Valle del Cauca [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/60113#:~:text=El acuífero de la zona,y más de 122 industrias.>
- Justo, J. (2013). El derecho humano al agua y al saneamiento frente a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4071/S2013130b_es.pdf?sequence=1
- Ledesma, R. (2008). Introducción al Bootstrap. Desarrollo de un ejemplo acompañado de software de aplicación. *Tutorials in quantitative methods for psychology*, 4(2), 51-60.
- Llamosa, L. E., Gómez, J. D. C., & Ramírez, A. F. (2009). Metodología para la estimación de la incertidumbre en mediciones directas. *Scientia et technica*, 1(41).
- López Jáuregui, A., & Elosua Oriden, P. (2004). Estimaciones bootstrap para el coeficiente de determinación: un estudio de simulación. *Revista Electrónica de Metodología Aplicada*, 9(2), 1-14.
- Manco-Silva, D., Guerrero-Erazo, J., & Morales-Pinzón, T. (2017). Estimación de la demanda de agua en centros educativos: caso de estudio facultad de ciencias ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira,

Colombia. Luna Azul, 44, 1–12.
<http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n44/n44a09.pdf>

- Martínez Y., & Villalejo, V. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL, 39, 14. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v39n1/riha05118.pdf>
- Montoya-Dominguez, E., & Rojas-Robles, R. (2019). Normatividad del agua en Colombia: ¿democratización o privatización? Luna Azul, 49, 1–20. <https://doi.org/10.17151/luaz.2019.49.7>
- Muñoz Del Prado, F. (2018). Aplicación de la modelación matemática del flujo de agua subterránea a la ingeniería civil. Estudio del rebajamiento de niveles piezométricos en el Delta Llobregat [Universitat politecnica de Valencia]. <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/104282/MUÑOZ> - Aplicación de la modelación matemática del flujo de agua subterránea a la Ingeniería Civi....pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Muñoz, E. (2009). Declaración de Dublín sobre el agua y desarrollo sostenible.
- Navarrete, C., & Martínez, E. (2011). Diseño e Implementación de un Sistema de Bombeo de Aguas Residuales para una Urbanización [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:9Dgm8l71JLsJ:hhttps://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/14899/3/%25E2%2580%259CDise%25C3%25B1o%2520e%2520Implementaci%25C3%25B3n%2520de%2520un%2520Sistema%2520de%2520Bombeo%2520de%2520Aguas%25>
- NFPA. (2019). NFPA 13 - Standard for the installation of sprinklers systems . Massachusetts : TIA Enclosed, 2016. 978- 145591156-1.
- ONU. (2015). Documento A/CONF.216/16Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible. <http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Resources/Static/Products/Progress2015/Spanish2015.pdf>
- Osorio, A., Embid, A., & Hurtado, J. (2016). Régimen de los usos del agua. análisis desde la perspectiva jurídica (p. 42). <https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/6d69eae4-96e7-4237-855d-0966621805cc/content>
- PAVCO. (2004). Determinación de los coeficientes de rugosidad absoluta (ks) y los coeficientes de pérdidas menores (km) en tuberías de PVC y Polietileno – Recopilación tesis Uniandes [Universidad de los Andes]. <https://es.scribd.com/doc/48980128/02-Recopilacion-Determinacion-de-ks-y-km-tuberias-PVC-y-Polietileno#>
- PAVCO WAVIN. (2019). Catalogo PVC presión PAVCO. https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:BHB0NSX_8x4J:https://pavcowavin.com.co/download/10&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=co
- Pedraza, D., Orjuela, S., Poveda, W., & Fonseca, Y. (2021). Diseño e implementación de prototipo domótico para la medición del consumo de agua potable en hogares a través de IoT [Fundación Universitaria Compensar].

[https://repositoriocrai.ucompensar.edu.co/bitstream/handle/compensar/3565/Documento Final Prototipo medidor de agua_Pedro Herbert Peñuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriocrai.ucompensar.edu.co/bitstream/handle/compensar/3565/Documento%20Final%20Prototipo%20medidor%20de%20agua_Pedro%20Herbert%20Pe%C3%B1uel.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Peñafiel, A. (2014). Evaluación de la calidad del agua del río tomebamba mediante el índice ica del instituto mexicano de tecnología del agua [Universidad de Cuenca]. <https://core.ac.uk/download/pdf/38667187.pdf>
- Pérez, J., Nardini, A., & Galindo, A. (2018). Análisis comparativo de índices de calidad del agua aplicados al río Ranchería, La Guajira-Colombia. *Información Tecnológica*, 29(3), 1–12. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642018000300047
- Perpiñán, A., & Marbello, R. (2014). Metodología de apoyo a la decisión para la gestión integrada del agua en el sector institucional. *Gestión y Ambiente*, 17(2), 1–13. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/43104/50041>
- Ponce, F. (2006). Manual para ensayo de pérdidas de energía en accesorios de tubería del laboratorio de hidráulica. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2668_C.pdf
- Ramírez, C. (2018). Notas de clase: Hidráulica.
- Russi, D. (2015). Determinación experimental del coeficiente de pérdidas menores y el comportamiento hidráulico de diferentes válvulas tipo cheque usadas en sistemas internos de distribución de agua potable. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21384/RussiRussiDanielalvana2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Roca, F. (2015). Análisis de la calidad de agua aplicando metodología ICA y macroinvertebrados acuáticos en canal de descarga de los laboratorios productores en las categorías semi cultivo y cultivo integral de nauplios y post larvas de camarón en mar bravo – salinas [Universidad estatal península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/2053/1/UPSE-TBM-2015-002.pdf>
- Rodriguez, C. (2009). Efectos de programas de desarrollo rural y comunitario y de lucha contra la desertificación en un sector perimetral del semiárido en el estado mérida [Universidad de los Andes]. http://bdigital.ula.ve/storage/pdftesis/postgrado/tde_arquivos/60/TDE-2012-05-28T09:46:25Z-2211/Publico/rodriguezcarmen_parte1.pdf
- Rosales, G. (2010). Estudio de suelos: Filtraciones en sótano edificio facultad de artes integradas - FAI Universidad del Valle sede Meléndez municipio Santiago de Cali - Valle del Cauca
- Samboni, N., Carvajal-Escobar, Y., & Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 1–12. <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v27n3/v27n3a19.pdf>
- Sánchez, L. D., Valencia-Zuluaga, V., Echeverri-Sánchez, A., Visscher, J. T., & Rietveld, L. C. (2016). Impact of Upflow Gravel Filtration on the Clogging



- Potential in Microirrigation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 142(1), 1–7. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000939](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000939)
- Sánchez, L., Latorre, J. y Díaz, J. (2011). Aplicación de la tecnología de filtración en múltiples etapas: con sistemas de riego localizado de alta frecuencia. Universidad del Valle.
 - Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 8(15), 1–16. <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
 - Trochez, F. (2011). Diseños técnicos para manejo y disposición de aguas freáticas y de infiltración edificios 313 y 314 facultad de artes integradas planta general y detalles nivel freático.
 - UNIFEM. (2008). Conferencia internacional sobre el agua y el medio ambiente: el Desarrollo en la perspectiva del siglo XXI (1992). <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/recursos/224844/Contenido/C Conferencias/5 Conf Int Agua y MA 1992.pdf>
 - Uriburu, L. (2018). Determinación del índice de calidad del agua de consumo humano, del centro poblado de agua fresca, distrito de Chontabamba – 2018 [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/710/1/Tesis URIBURU CHAVEZ....pdf>
 - Vicerrectoría administrativa, Sección de planeación física, & Dirección de infraestructura universitaria. (2018). Mapa de ubicación: nueva zonificación y nomenclatura Universidad del Valle multicampus C.U.V Meléndez Cali - Colombia. <https://drive.google.com/file/d/1EZLza4o1JAKALLuxAlygR9016xMMpkU0/view>
 - Zabala, G. (2019). Caracterización de recursos hídricos estratégicos en Colombia: un análisis sobre su securitización. Perspectivas En Inteligencia, 11(20), 129–205. <https://revistascedoc.com/index.php/pei/article/view/24>



12. ANEXOS

12.1 Calculo del volumen de agua para el sistema contraincendios

$$V = Q \times T$$

$V = \text{Volumen en galones}$

$Q = \text{galones} \times \text{minuto}^{-1}$

$T = \text{minutos}$

Reemplazando, se obtuvo:

$$V = 250 \frac{\text{galones}}{\text{minuto}} \times 30 \text{ minutos} = 7500 \text{ galones}$$

Para obtener el volumen de tanque en m^3 en cada edificio

$$7500 \text{ galones} \times \frac{3.785 \text{ litros}}{1 \text{ galón}} \times \frac{1 m^3}{1000 \text{ litros}} = 28.38 m^3$$

Considerando que el área de proyección y desarrollo cultural de la Universidad cuenta con cuatro edificios, el volumen total para tanque del sistema contraincendios sería de:

$$28.38 \frac{m^3}{\text{edificio}} \times 4 \text{ edificios} = 113.52 m^3$$

12.2 Estimación del sistema de bombeo para suministro

De acuerdo con lo expresado en la tabla 22 el volumen de agua no potable que demandan los edificios del Área de Proyección y Desarrollo Cultural (APDC) es de 44 m³/ día.

El actual pozo de succión en el sótano de la facultad de artes tiene un volumen útil de 2.84 m³, en un periodo de 24 horas la motobomba se enciende un número elevado de veces, ver tabla 15.

Para el almacenamiento de los 44 m³/ día de agua que se requieren para los futuros edificios del APDC proponemos la ampliación del pozo de succión en el sótano de la FAI a 27 m³ (tanque bajo) y en las inmediaciones del Área de Proyección y Desarrollo Cultural construir un tanque de almacenamiento de 17 m³.

Para elevar el agua desde el pozo de succión (tanque bajo) hasta el tanque de almacenamiento en el APDC recomendamos una electro bomba sumergible.

A continuación, se presentan los cálculos para la selección de la bomba sumergible, se considera que las horas de bombeo por día es 3 horas.

$$Q = \frac{\text{Volumen a bombear}}{\text{tiempo de bombeo}}$$

$$Q = \frac{27.000 \text{ litros}}{3 \text{ horas}} = 27.000 \frac{\text{litros}}{10.800 \text{ segundos}} = 2,5 \frac{\text{litros}}{\text{segundo}}$$

Para conducir 2,5 litros *segundo⁻¹ con pérdidas unitarias de energía bajas (0.03 m/m) se empleará una tubería PVC presión RDE 21 de 2" (PAVCO WAVIN, 2019). Establecido el caudal de la bomba procedemos a calcular la cabeza dinámica total del sistema de bombeo.

Para calcular la cabeza dinámica total del sistema de bombeo se suman la altura estática, las perdidas por fricción en la tubería de impulsión, las pérdidas menores por accesorios y la pérdida de energía a en la entrada al tanque de almacenamiento.

Altura estática: En el corte del esquema de aprovechamiento, observamos que la diferencia de nivel entre la bomba sumergible y la cota de entrada de la tubería de impulsión al tanque de almacenamiento del APDC es 4,40 metros.

Pérdidas de energía por fricción en tubería: Para calcular las pérdidas por fricción en la tubería e la ecuación de Hazen- Williams

$$H_f = \frac{10,675 * Q^{1,85} * L}{C^{1,85} * D^{4,87}}$$

Donde:

Q=Caudal m³/s

L=Longitud en metros.

C=Constante de Hazen-Williams, adimensional



D=Diámetro de la tubería en metros

$$H_f = \frac{10,675 * 0,00250^{1,85} * 171}{150^{1,85} * 0,05458^{4,87}}$$

$$H_f = 3,73 \text{ metros}$$

Pérdidas de energía por accesorios: Inicialmente, se estimó la velocidad del fluido, parámetro que depende del caudal y del diámetro de la tubería. Para un caudal de $2,5 \frac{\text{litros}}{\text{segundo}}$ y una tubería de diámetro de dos pulgadas (54,58 mm) se usó la ecuación de continuidad para hallar la velocidad del fluido.

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

Para calcular la sección transversal de la tubería se empleó la siguiente Ecuación:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times 0,05458^2}{4} = 0,002339 \text{ m}^2$$

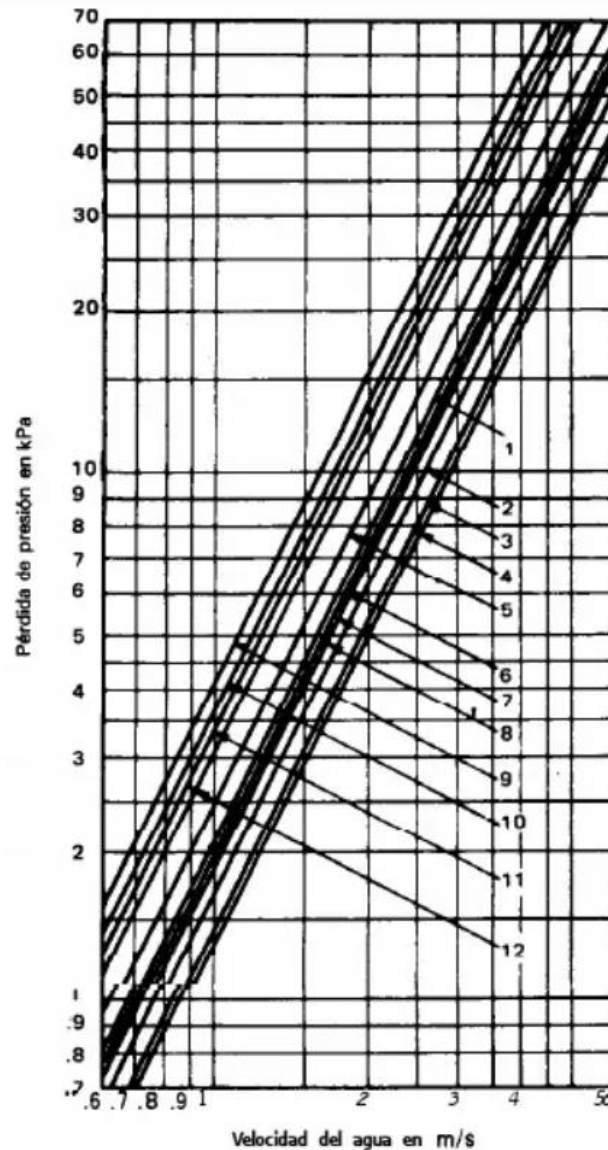
$$V = \frac{0,0025 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,002339 \text{ m}^2} = 1,07 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Pérdida de energía en válvula cheque: Para calcular la pérdida de energía en las válvulas cheque se acogieron los resultados obtenidos por Russi (2015). En este trabajo Russi encontró que el valor de K para la válvula cheque tipo cortina es 13,99. La pérdida de energía en las válvulas tipo cheque para nuestro proyecto se calcula con la ecuación

$$h_{f \text{ válvula cheque}} = K_m \times \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{f \text{ válvula cheque}} = 13,99 \times \frac{1,07^2}{2g} = 0,81 \text{ mca}$$

Pérdida de energía en válvula de compuerta: Para determinar la pérdida de energía en las válvulas tipo cortina se adoptó el valor expresado por Gamboa (2016). La pérdida de energía es función de la velocidad del fluido en el paso por la válvula, como se observa en la siguiente Figura.



Pérdida de energía en válvula de compuerta, fuente: (Gamboa, 2016)

Para una velocidad de $1,07 \frac{m}{s}$, se tiene que la pérdida de presión es 1,4 kPa (0,14 mca). En el trazado hidráulico desde el tanque de succión hasta el tanque de almacenamiento tenemos 3 válvulas cortina de 2". Es decir que la pérdida de energía en las válvulas tipo cortina es 0,42 mca.

Para determinar las pérdidas de energía por accesorios se usó la información suministrada por PAVCO (2004). De acuerdo con investigación desarrollada por Vega, 1993 en conjunto con la Universidad de los Andes y la empresa PAVCO. En este trabajo se obtuvieron los valores de K para los accesorios de 2". En la siguiente Tabla se presentan los resultados obtenidos para cada accesorio de 2".



Valores de K para pérdidas menores en accesorios, fuente: PAVCO (2004)

Accesorio	Dimensión	K PAVCO
Codo	2" x 90°	1,273
T perpendicular	2"	1,293
Unión	2"	0,096
Adaptador Macho	2"	0,50

Pérdidas de energía en codos 2 x 90:

$$h_f = 1,273 \times \frac{1,07^2}{2g} = 0,074 \text{ mca}$$

En el trazado hidráulico desde el tanque de succión hasta el tanque de almacenamiento tenemos 4 codos de 2" x 90. Es decir que la pérdida de energía en codos es 0,30 mca.

Pérdidas de energía en te de 2":

$$h_f = 1,293 \times \frac{1,07^2}{2g} = 0,075 \text{ mca}$$

En el trazado hidráulico desde el tanque de succión hasta el tanque de almacenamiento tenemos 1 te de 2.

Pérdidas de energía en unión de 2":

$$h_f = 0,096 \times \frac{1,07^2}{2g} = 0,005 \text{ mca}$$

En el trazado hidráulico desde el tanque de succión hasta el tanque de almacenamiento tenemos 30 uniones de 2". Es decir que la pérdida de energía en uniones es 0,17 mca.

Pérdidas de energía en adaptadores macho de 2":

$$h_f = 0,50 \times \frac{1,07^2}{2g} = 0,029 \text{ mca}$$

En el trazado hidráulico desde el tanque de succión hasta el tanque de almacenamiento tenemos 8 adaptadores macho de 2". Es decir, que la pérdida de energía en uniones es 0,23 mca.

Pérdidas de energía en la entrada al tanque de almacenamiento: Durante el flujo de un fluido de un conducto hacia un gran depósito o tanque, su velocidad disminuye hasta casi cero. En el proceso, la energía cinética que el fluido poseía en el conducto, indicada por la cabeza de velocidad, $\frac{V^2}{2g}$, se disipa (PONCE, 2006). Por lo tanto, la pérdida de energía para esta condición es la siguiente:

$$h_f = 1x \frac{1,07^2}{2 \times 9,81} = 0,06 \text{ m. c. a}$$

En la Tabla se resumen las pérdidas de energía correspondientes a la altura dinámica total del sistema de bombeo.

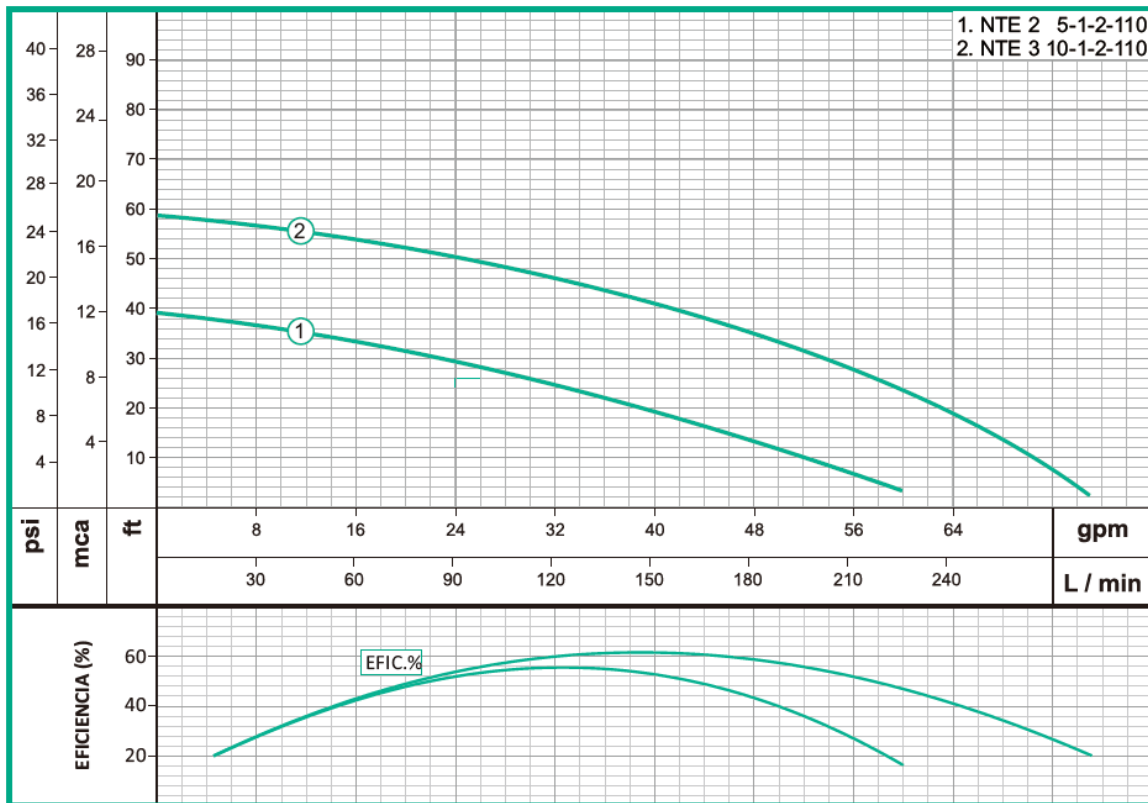
Cabeza dinámica total sistema de bombeo			
	HDT	UN	
Altura estática	4,40		mca
Fricción en la tubería	3,73		mca
Pérdida en válvula cheque	0,81		mca
Pérdida en válvula cortina	0,42		mca
Pérdida en codos 2 x 90	0,30		mca
Pérdida en te 2"	0,075		mca
Pérdida en unión 2"	0,17		mca
Pérdida en adaptador macho 2"	0,23		mca
Pérdida en entrada al tanque	0,06		mca
Cabeza dinámica total	10,19		mca

Los parámetros hidráulicos para la selección de la bomba son:

$$\text{Caudal} = 2,5 \frac{\text{litros}}{\text{segundo}}$$

$$\text{HDT} = 10,19 \text{ mca}$$

Selección de la bomba



Curva de la bomba NTE 3 10-1-2-110, Fuente: (BARNES, 2017)

Sistema de tuberías

Para encontrar la curva del sistema de tuberías empleamos la siguiente ecuación

$$H = H_{estática} + K \times Q^{1,85}$$

Donde:

$H_{estática}$ = H entre la cota de succión y la cota de entrega en la PTAP

Q = Caudal transportado en la tubería

K = Es el valor de operar las constantes de la ecuación de Hazen – Williams

$$K = \frac{10,675 * L}{C^{1,85} * Diámetro^{4,87}}$$

$$K = \frac{10,675 * 171}{150^{1,85} * 0,05458^{4,87}}$$

$$K = 243355,89$$

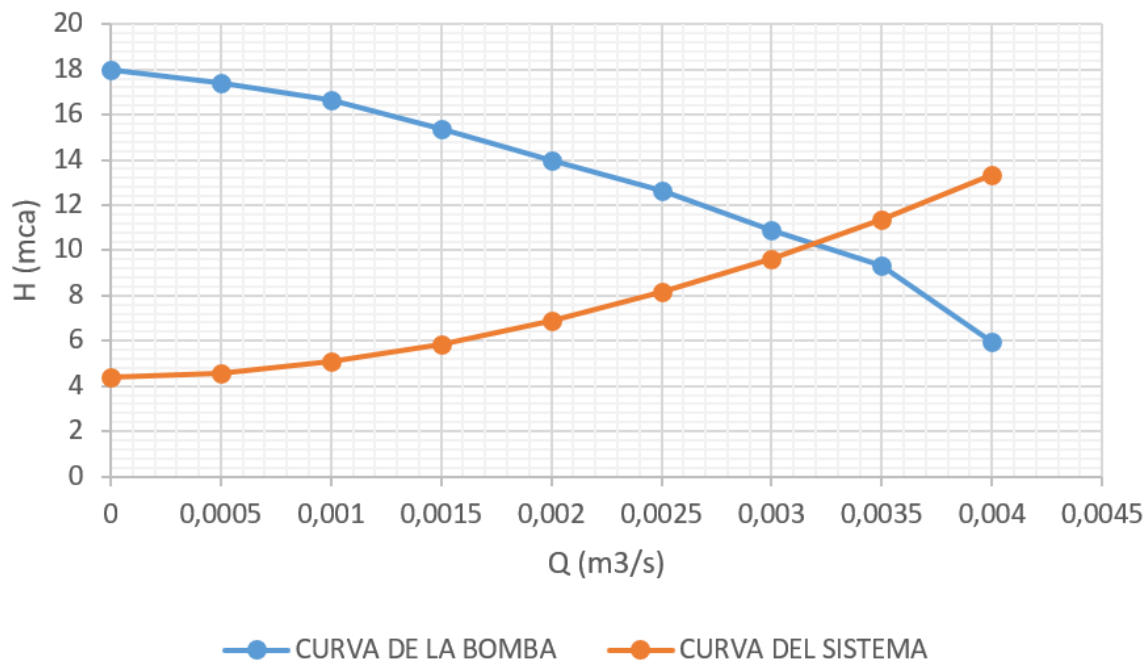
$$HDT = H_{estática} + K \times Q^{1,85}$$

Para hallar la curva del sistema de tuberías se tomaron diferentes valores en la variable Q y obtener la cabeza dinámica total en función del caudal.

Sistema de tuberías del sistema de bombeo				
Caudal $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	HDT (MCA)	H estática	Caudal ^{1.85}	K
0	17,98	4,4	0	243355,89
0,0005	17,4	4,4	7,28E-07	243355,89
0,001	16,66	4,4	2,82E-06	243355,89
0,0015	15,34	4,4	5,97E-06	243355,89
0,002	13,98	4,4	1,02E-05	243355,89
0,0025	12,66	4,4	1,54E-05	243355,89
0,003	10,90	4,4	2,15E-05	243355,89
0,0035	9,32	4,4	2,86E-05	243355,89
0,004	5,98	4,4	3,66E-05	243355,89

Punto real de operación del sistema de bombeo

El punto real de operación del sistema de bombeo corresponde al punto en el que se interceptan la curva de la bomba y la curva del sistema de tubería.



Punto Real de Operación del sistema de bombeo, fuente: elaboración propia

Potencia de la bomba

De acuerdo con la gráfica anterior el punto real de operación es $0,0032 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$ y una cabeza dinámica total de 10,40 metros..



La potencia del equipo de presión se calcula a través de la siguiente ecuación. De acuerdo con lo expresado en la curva de la bomba la eficiencia de la bomba es el 56%

$$P = \frac{Q * H * \rho * g}{746 * e}$$

Donde:

P= Potencia de la bomba (W)

H= Cabeza dinámica total (m)

Q= Caudal de operación en (m³/s)

e = Eficiencia del sistema de bombeo

ρ = Densidad del agua

g=Aceleración por la fuerza de gravedad (m/s⁻²)

$$P = \frac{Q * H * \rho * g}{746 * e}$$

$$P = \frac{0,0032 * 10,4 * 1000 * 9,81}{0,56 * 746} = 0,78 \text{ hP}$$

12.3 Análisis económico de la inversión

Para el análisis económico de inversiones, se planteó la siguiente pregunta ¿se justifica hacer la inversión?. Para encontrar esta respuesta se ubicó el proyecto en una línea de tiempo de 5 años.

1.- Costos del proyecto

Inversión inicial + operación y mantenimiento

Presupuesto inversión inicial

Costo inicial de la inversión					
Item	Descripción	Cant	Un	Vr unit	Vr total
1	Localización y replanteo- Comisión de topografi	1	gb	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
2	Demolición contrapiso en sótano	16	m ²	\$ 45.000	\$ 720.000
3	Excavación manual	163	m ³	\$ 15.000	\$ 2.445.000
4	Concreto reforzado para estructuras hidraulicas	30	m ³	\$ 575.000	\$ 17.250.000
5	Relleno con material de sitio	81	m ³	\$ 12.000	\$ 972.000
6	Colchon de arena	21	m ³	\$ 130.000	\$ 2.730.000
7	Tubería pvc presión 2"	171	ml	\$ 25.000	\$ 4.275.000
8	Válvula cheque 2"	1	un	\$ 135.000	\$ 135.000
9	Valvula compuerta 2"	4	un	\$ 85.000	\$ 340.000
10	Grava para filtros	12	m ³	\$ 150.000	\$ 1.800.000
11	Motobomba	2	un	\$ 2.500.000	\$ 5.000.000
12	Componente electrico	1	gb	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000
	Costo directo obra				\$ 40.167.000
			A	\$ 0	\$ 10.041.750
			U	\$ 0	\$ 2.008.350
			I	\$ 0	\$ 1.205.010
			IVA/U	\$ 0	\$ 228.952
	Costo total obra				\$ 53.651.062
13	Costo diseño	1	gb	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000
14	Costo interventoria	1	gb	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000
	Costo total inversión inicial				\$ 61.651.062

2.- Costos de operación y mantenimiento

Costo anual de operación y mantenimiento

Item	Descripción	Cant	Un	Vr unit	Vr total
	Mantenimiento periodico del sistema de				
1	bombeo	2	un	\$ 1.500.000	\$ 3.000.000
2	Personal de operación	528	hora	\$ 7.500	\$ 3.960.000
3	Energía por año	459	kw/hora	\$ 700	\$ 321.300
					\$ 7.281.300

El proyecto actualmente requiere una inversión inicial de \$61.651.062. El costo anual actual de mantenimiento para el año 1 de funcionamiento es \$7'281.300

3.- Costo del volumen de agua demandado por los edificios del área de proyección

y desarrollo cultural de la universidad del valle.

Costo anual de servicio de acueducto que no requiere de agua potable

Tarifa acueducto EMCALI por m^3	Tarifa alcantarillado EMCALI por m^3	m^3 cúbicos aprovechados al año	Costo total año m^3 EMCALI
\$ 2.663	\$ 3.029	\$ 11.616	\$ 66.118.272
Costo total año m^3 proyecto aprovechamiento agua subsuperficial			
\$ 627	\$ -	\$ 11.616	\$ 7.281.300

Comparando las dos posibilidades de suministro de agua para usos que no requieren calidad de agua potable. Una posibilidad es la que se presentó en este proyecto de aprovechamiento del agua sub superficial de la Facultad de Artes Integradas y la otra posibilidad es abastecer estos servicios con agua desde la red de la empresa pública municipal.

Acorde con el volumen diario estimado, $44 m^3 \cdot día^{-1}$, en un año el consumo es $11.616 m^3$. Con el costo de la tarifa de acueducto y alcantarillado el valor anual por el consumo es de \$66.118.272

El costo anual de la operación y mantenimiento del proyecto de aprovechamiento es \$7.281.300, si se divide esta cifra entre el consumo anual de agua, el valor del m^3 es \$627. Mientras que el valor del m^3 con EMCALI es \$5.692

Pero el análisis hasta aquí está incompleto porque no se ha incluido en él costo de la inversión inicial que el proyecto de aprovechamiento del agua sub superficial exige. Por lo tanto, se realizó un análisis financiero para calcular el valor presente de neto de la inversión, el valor presente del funcionamiento, la tasa de retorno, la razón costo beneficio de comparar las dos alternativas de abastecimiento.

Considerando acogerse a la tasa del DTF, 14.24% (Depósito a Término Fijo) como alternativa o costo de oportunidad, ya que la Universidad podría decidir no invertir dinero en el proyecto y a cambio realizar una inversión en el sector financiero.

4.- Análisis financiero del proyecto

En las siguientes Tablas se presenta el análisis financiero del proyecto en diferentes escenarios de tiempo.



Análisis financiero proyectado a 4 años

Suministro de agua	0	1	2	3	4	VPF	VPN	TIR	B/C
Con el proyecto de aprovechamiento del agua sub superficial del sótano de la Facultad de Artes Integradas	\$61.651.062	\$58.836.972	\$58.836.972	\$58.836.972	\$58.836.972	\$170.593.970	\$95.363.190	88%	2,77
Con EMCALI	\$-66.118.272	\$-66.118.272	\$-66.118.272	\$-66.118.272	\$-66.118.272	-\$191.705.625	-\$167.809.546		

Análisis financiero proyectado a 3 años

Suministro de agua	0	1	2	3	VPF	VPN	TIR	B/C
Con el proyecto de aprovechamiento del agua sub superficial del sótano de la Facultad de Artes Integradas	\$61.651.062	\$58.836.972	\$58.836.972	\$58.836.972	\$136.049.579	\$65.124.753	79%	2,21
Con EMCALI	\$-66.118.272	\$-66.118.272	\$-66.118.272	\$-66.118.272	-\$152.886.235	-\$133.828.987		



Análisis financiero proyectado a 2 años

Suministro de agua	0	1	2	VPF	VPN	TIR	B/C
Con el proyecto de aprovechamiento del agua sub superficial del sótano de la Facultad de Artes Integradas	\$61.651.062	\$58.836.972	\$58.836.972	\$96.586.068	\$30.580.362	56%	1,56
Con EMCALI	\$-66.118.272	\$-66.118.272	\$-66.118.272	-\$108.538.962	-\$95.009.596		

Análisis financiero proyectado a 1 año

Suministro de agua	0	1	VPF	VPN	TIR	B/C
Con el proyecto de aprovechamiento del agua sub superficial del sótano de la Facultad de Artes Integradas	\$61.651.062	\$58.836.972	\$51.502.952	-\$53.966.266	-5%	0,83
Con EMCALI		\$-66.118.272	-\$57.876.639	-\$95.009.596		

En el periodo cero el proyecto de abastecimiento tiene un costo de inversión de \$61.651.062. El suministro con EMCALI no tiene costo de inversión inicial. En el análisis se estudió cómo se comporta año a año la inversión para ver si hay recuperación a lo largo del tiempo en términos financieros. En el año 1 no hay

recuperación de la inversión, seguirá siendo rentable el suministro con la red de EMCALI. En el año 2 la inversión es favorable, la tasa interna de retorno (TIR) es del 56% y la relación costo beneficio es de 1,56. Si seguimos ampliando el análisis del tiempo obtendremos mayores tasas de retorno porque los costos de operación y mantenimiento.