

3RA ENTREGA PROYECTO ACUEDUCTO ACUAPALTRES – RESTREPO

ESTUDIANTES:

**CRISTHIAN DAVID DOMÍNGUEZ DOMINGUEZ
WILDER DAVID BARONA GONZÁLES
DANIELLA ZAPATA VIVAS
LAURA CASTRO ANACONA
JOSE MANUEL CARVAJAL CERÓN
LUIS FERNANDO PIEDRAHITA COLORADO
CESAR JULIO LOAIZA GUTIERREZ**

PROFESOR:

ING. CESAR CAMILO CAÑON BARRIGA

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI
FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL E INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI**

2021

Tabla de contenido

GLOSARIO	7
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. CONTEXTO TERRITORIAL DE RESTREPO	3
3. ACUAPALTRES	5
3.1. ANTECEDENTES	5
3.2. LOCALIZACIÓN ACUAPALTRES	8
3.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO	9
3.3.1. Hidrografía	10
3.3.2. Precipitación	11
3.3.3. Temperatura	12
3.3.4. Geología	13
3.3.5. Demografía	13
3.4. DESCRIPCIÓN DEL ACUEDUCTO ACUAPALTRES	14
3.5. HISTORIA DE LA CONSTRUCCION DEL ACUEDUCTO	17
3.6. PROBLEMÁTICA	17
3.6.1. Mala Calidad del Agua	17
3.6.2. Escasez Hídrica	22
3.6.3. Problemas Legales y Ambientales	22
4. MARCO NORMATIVO	24
4.1. Ejecución de obras	24
4.2. Acueducto y alcantarillados	24
4.3. Construcciones	24
5. DISEÑO CONCEPTUAL	24
5.1. Planta FiME	24
5.1.1. Aplicación	25
5.1.2. Proceso	25
5.1.3. Filtro Grueso Dinámico (FGD)	26
5.1.4. Filtro Lento en Arena	26
5.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA COMPACTA	27
5.2.1. Proceso	28
5.3. DESARENADORES	28
5.3.1. Operación	29

5.3.2.	Parámetros de diseño requeridos	30
5.3.3.	Selección Tratamiento Agua Potable	30
5.3.4.	Selección de la tecnología para la potabilización del agua	31
5.4.	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	31
5.4.1.	CUADRO COMPARATIVO.....	32
6.	ESTUDIOS PREVIOS DISEÑO HIDRÁULICO.....	33
6.1.	Estudio hidrológico.	33
6.2.	Crecimiento poblacional.....	35
6.3.	Demanda de agua	37
7.	DISEÑO A DETALLE DEL DESARENADOR	38
8.	MÉTODOS.....	39
8.1.	Estudios de suelo para el diseño.....	39
8.1.1.	Ensayos para caracterizar los suelos	39
8.1.2.	Ensayos Especiales.....	39
8.2.	Geotecnia	40
8.2.1.	Trabajo de campo.....	40
8.2.2.	Ensayos de laboratorio	41
9.	HERRAMIENTAS DE DISEÑO.	45
9.1.	ETABS.....	45
9.2.	AUTOCAD.....	45
10.	PROCESO CONSTRUCTIVO	45
10.1.	Materiales y Herramientas.	45
10.1.1.	Concreto simple	46
10.1.2.	Acero de refuerzo	46
10.1.3.	Materiales para sellos de juntas.....	46
10.1.4.	Impermeabilizantes	46
10.1.5.	Herramienta menor	46
10.2.	Localización y replanteo de la obra.....	47
10.3.	Construcción Desarenador	47
10.3.1.	Excavación manual	47
10.3.2.	Drenes	47
10.4.	Solado	48
10.5.	Columnas	48
10.6.	Zapatas y vaciado del concreto.....	48

10.7.	Encofrados y desencofrados	49
10.8.	Losa de los tanques.....	49
10.9.	Acero de refuerzo de pared	49
10.10.	Repello exterior de los tanques	50
10.11.	Tuberías y accesorios	50
11.	ESPECIFICACIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	50
12.	PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA DE OBRA.....	50
13.	RECOMENDACIONES GENERALES Y CONSIDERACIONES FINALES	51
14.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
15.	ANEXOS.....	52

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos geográficos e hidro climáticos del municipio de Restrepo.....	3
Tabla 2. División político-administrativa y extensión territorial del municipio de Restrepo.	4
Tabla 3. Red Hidrográfica Restrepo Valle del Cauca (Plan Vial Restrepo, 2019)	20
Tabla 4. Puntaje de riesgo según IRCA.....	26
Tabla 5. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA.....	27
Tabla 6. Resultados análisis de la calidad del agua para consumo humano.	28
Tabla 7. Cuadro Comparativo de Alternativas.	33
Tabla 8. Puntajes - Matriz de Decisiones.....	33
Tabla 9. Puntaje Total de las Alternativas.....	39
Tabla 10. Características cuenca hidrológica.	40
Tabla 11. Proyección de la población - Método aritmético.	40
Tabla 12. Cálculo población de diseño.	41
Tabla 13. Caudal de demanda.	438
Tabla 14. Datos de entrada para calcular las dimensiones del FGD.....	44
Tabla 15. Datos de entrada para calcular las dimensiones del FLA.....	Error! Bookmark not defined.
Tabla 16. Clasificación de suelos.	49
Tabla 17. Granulometría.....	50
Tabla 18. Límites de Atterberg.	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del municipio de Restrepo en el Valle del Cauca.	3
Figura 2. División político-administrativa del municipio de Restrepo	5
Figura 3. Predio actual ya reducido.....	6
Figura 4. Detalle del tanque de almacenamiento del acueducto Acuapaltres, toma aérea	6
Figura 5. Tanque de potabilización de agua compacta fuera de servicio por antigua adecuación del acueducto.	7
Figura 6. Tanques fuera de servicio y tanque principal de almacenamiento.....	8
Figura 7. Ruta para llegar al acueducto de Acuapaltres desde Restrepo.	9
Figura 8. Accidentes orográficos.....	9
Figura 9. Ubicación de Acuapaltres y el municipio de Restrepo	10
Figura 10. Precipitación Municipio de Restrepo Valle del Cauca.....	12
Figura 11. Precipitación promedio.....	12
Figura 12. Distribución Poblacional Municipio de Restrepo Valle del Cauca.	13
Figura 13. Centro de cloración y tuberías de abastecimiento de las quebradas Sinaí y Calimitas.....	14
Figura 14. Bocatomas de las quebradas Sinaí y Calimitas.....	14
Figura 15. Punto de cloración del agua.....	15
Figura 16. Dosificación de cloro al 70%.	15
Figura 17. Vista del tanque de almacenamiento del acueducto.....	16
Figura 18. Tuberías de distribución del tanque principal.	16
Figura 19. Detalle de los dos tanques principales de almacenamiento y caseta de tratamiento.....	17
Figura 20.	22
Figura 21. Sistema de Filtración de Múltiples Etapas.	25
Figura 22. Planteamiento de planta FiME.	27
Figura 23. Esquema de planta de tratamiento de agua compacta.....	28
Figura 24. Esquema de desarenador.	29
Figura 25. Dirección y acumulación de flujo.	34
Figura 26. Cuenca hidrológica y elevación – Restrepo, Valle del Cauca.....	34
Figura 27. Acumulación y longitud de cresta en cuenca.....	35
Figura 28. Población del municipio de restrepo año 1985 a 2017 – Censo Dane.....	36
Figura 29. Excavación del apique.	40
Figura 30. Estratos de suelo.	41
Figura 31. Dren con grava, tubería perforada y arena.....	48

GLOSARIO

- **Afluente:** Agua sin tratamiento o parcialmente tratada que entra a una sección de la planta de tratamiento.
- **Agua cruda:** Agua no sometida al proceso de tratamiento.
- **Coliformes fecales:** Organismos indicadores de contaminación fecal, particularmente *Escherichia coli*, una bacteria que vive en los intestinos del hombre y otros mamíferos. Como son excretados en las heces en grandes cantidades, su presencia en el agua es indicativa de grado de contaminación fecal.
- **Cloración:** Adición de cloro para la eliminación de bacterias y virus, los cuales pueden haber traspasado el proceso previo de tratamiento de agua, para asegurar que el agua es segura para beber.
- **Desinfección:** Proceso que consiste en eliminar los microorganismos patógenos que pueden estar presentes en el agua, mediante el uso de equipos especiales o sustancias químicas.
- **Efluente:** Líquido que sale de un proceso de tratamiento.
- **Filtro:** Elemento que, interpuesto en un flujo, permite eliminar parte de los elementos de ese flujo, normalmente elementos no deseados.
- **Filtro Grueso Dinámico (FGDi):** Los FGDi son utilizados para reducir los extremos de los picos de turbiedad y proteger de esta manera la planta de tratamiento ante altas cargas de sólidos transportadas por las fuentes durante unas pocas horas.
- **Filtro Grueso Ascendente (FGA):** En un FGA el agua pasa a través del lecho de grava de abajo hacia arriba y durante este paso las impurezas son retenidas por el material filtrante. Puede ser Filtro Grueso Ascendente en Capas (FGAC), cuando el filtro está en una misma estructura y Filtro Grueso Ascendente en Serie (FGAS) cuando el filtro se encuentra distribuido en varias estructuras que funcionan en serie.
- **Filtro Lento en Arena (FLA):** El filtro lento o biológico se utiliza principalmente para eliminar la turbiedad del agua y consta de una caja o tanque que contiene una capa sobrenadante del agua que se va a desinfectar, un lecho filtrante de arena, drenajes y un juego de dispositivos de regulación y control.
- **Filtración a tasa declinante:** Un método específico de operación de filtros lentos en arena en el cual, periódicamente, el nivel de agua sobrenadante decrece gradualmente y el agua es filtrada a una velocidad continuamente declinante. Este método de filtración se usa comúnmente cuando el afluente de agua cruda en la planta de tratamiento no es continuo.
- **Materia Orgánica Natural o Color Real:** Asociado a carbono orgánico disuelto o sustancias húmicas.
- **pH:** Medida de la acidez (< 7) o alcalinidad (> 7) de un compuesto.
- **Sistema de distribución:** Red de tuberías por medio de la cual se transporta el agua a los consumidores.
- **Turbiedad:** Falta de claridad de un líquido, causada por las partículas suspendidas. Definido por la medida de dispersar la luz a través de una muestra. Se usan índices como FTU, NTU, etc.

RESUMEN

El acueducto comunitario Acuapaltres, ubicado en el municipio de Restrepo, Valle del Cauca, y alimentado por medio de 2 bocatomas de las quebradas Calimitas y El Sinaí, se encuentra en condiciones desfavorables asociadas con la escasez y mala calidad de agua, impidiendo la prestación de un adecuado servicio, tal como se evidenció en las visitas de campo realizadas en los meses de abril y agosto de 2021.

Para la problemática planteada, se presentan alternativas de diseño buscando mejorar la calidad de agua que distribuye este acueducto para las diferentes veredas de la zona, tales como implementar una planta FiME, una planta de tratamiento de agua compacta o un desarenador. Cada alternativa tiene sus restricciones, las cuales se consideran en el momento de escoger la más viable: la planta FiME por ejemplo, implica retos legales para poder expandir el terreno y lograr su construcción. Con la matriz de decisión se seleccionó la instalación de un desarenador elevado (sobre los tanques) por temas de espacio. Los desarenadores tienen por finalidad propiciar la sedimentación y garantizar luego la evacuación de las partículas sólidas que hayan ingresado a través de un canal de conducción.

Como soporte para el diseño presentado, se realizaron una serie de visitas y estudios topográficos, geotécnicos e hidrológicos. Para finalizar se establecieron los costos finales del proyecto, a través de un respectivo análisis de presupuesto y cantidades acorde con la obra diseñada, y un cronograma de actividades estimado.

1. INTRODUCCIÓN

El agua potable es un recurso vital para la vida humana, tanto en cantidad como en calidad. Por esta razón, el agua debería mantenerse como un bien colectivo, un bien común, y lograr que no se empresarice el agua y que no se le vea la eficiencia económica (Sánchez, 2020). En Colombia los acueductos comunitarios juegan un papel muy importante, La Red Nacional de Acueductos Comunitarios de Colombia informa que hay más de 12.000 organizaciones comunitarias en el país que prestan servicios de abastecimiento de agua con arreglo a un enfoque basado en principios como la democratización, la descentralización y la justicia social y ambiental (Memorias red nacional, 2020). Una de las dificultades que presentan estos acueductos en Colombia es la falta de infraestructura afectada para la prestación del servicio.

Al menos 6,2 millones de colombianos reciben en sus casas agua que representa un alto riesgo para la salud, y el 13.6% de ellos están expuestos a que contenga altas concentraciones de bacterias fecales, virus, parásitos y elementos no biológicos, como minerales y sustancias químicas, lo que lo hace inviable para el consumo. El agua contaminada está relacionada de manera directa con bastantes enfermedades, de ellas la más conocida es la diarrea, que según la Organización Mundial de la Salud (OMS) acaba con la vida de 361.000 niños cada año en el mundo. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) estima que 800.000 personas mueren cada año en el mundo por causas relacionadas con la falta de agua potable, más que las víctimas sumadas de conflictos, sismos y epidemias, según un informe (El tiempo, 2021)

Un caso de acueducto comunitario en condiciones desfavorables para la comunidad beneficiada es el de Acuapaltres en Restrepo, Valle del Cauca: dicho acueducto presenta problemas como escasez y mala calidad del agua, que impiden la prestación de un adecuado servicio para las veredas que son beneficiarias de este, por ende se necesita desarrollar un plan para el tratamiento de las aguas que se extraen. Como respuesta a este problema, se está proponiendo el reacondicionamiento del acueducto Acuapaltres, con una cifra de 540 suscriptores. Hace 15 años se reestructuró el sistema de abastecimiento donde se instalaron los tanques de distribución, pero no da abasto a la demanda hídrica de la zona, por lo que tampoco se tienen estudios previos detallados para el desarrollo del proyecto. Este proyecto busca mejorar la prestación del servicio de agua en la localidad, mediante la implementación de infraestructura, acompañada de un componente social y ambiental, contribuyendo en este sentido al cumplimiento de los objetivos 6 y 10 de desarrollo sostenible relacionados con garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, y reducir las desigualdades dentro del país entre la zona urbana y la rural respectivamente (Naciones Unidas, 2015).

2. CONTEXTO TERRITORIAL DE RESTREPO

El municipio de Restrepo se encuentra ubicado al occidente del departamento del Valle del Cauca, a 3° 49' 30" latitud norte y 76° 31' 30" longitud oeste del meridiano de Greenwich (Figura 1). Limita al norte con el municipio de Calima-Darién, al sur con los municipios de La Cumbre y Vijes, al oriente con Vijes y Yotoco; y al occidente con los municipios de Dagua y La Cumbre. Dista de Cali 90 kilómetros por la carretera Panamericana, desviándose en Mediacanoa hacia el embalse del Lago Calima.

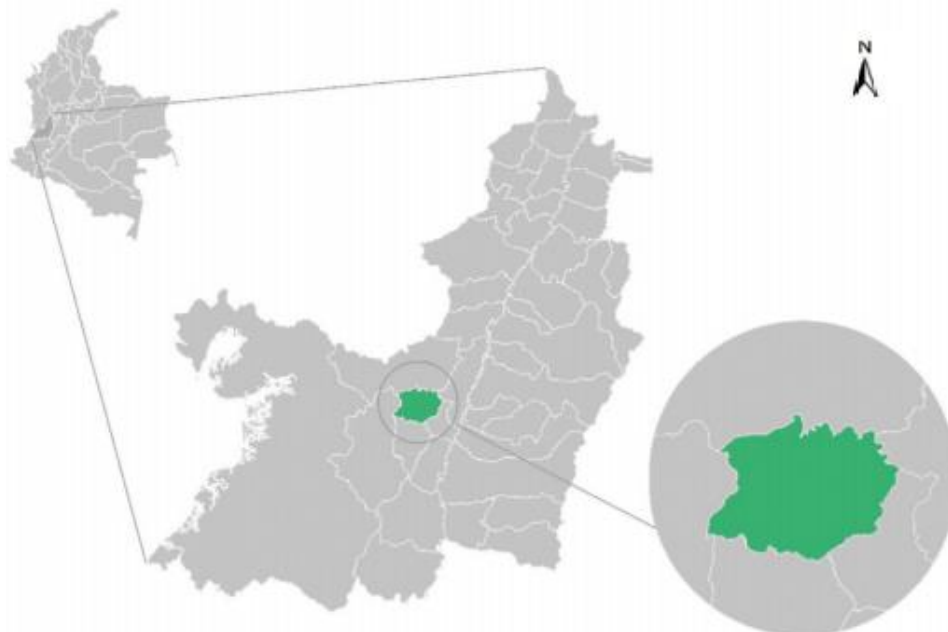


Figura 1. Localización del municipio de Restrepo en el Valle del Cauca.

Extraído de: Base de datos cartografía CVC (2015).

A continuación, se describen algunas características hidro climáticas y geográficas del municipio (**Tabla 1**).

Tabla 1. Datos geográficos e hidro climáticos del municipio de Restrepo.

Altitud (msnm)	1,400
Temperatura media (°C)	18
Precipitación media anual (mm)	1,116
Humedad relativa (%)	84
Evaporación media mensual (mm)	87.38
Extensión (ha)	20,107
Ríos principales	Romerito, Mozambique, Grande, El Engaño y Bitaco

Accidentes orográficos	La cuchilla Calima y Los Cerros Chancos, situados en los límites con el municipio de Calima-Darién y Bosque de Pubenza
------------------------	--

Extraído de: Base de datos cartografía CVC (2015) y Alcaldía de Restrepo (2012).

La división política y administrativa del municipio está distribuida por 7 corregimientos, 27 veredas y 11 barrios en el casco urbano (Alcaldía de Restrepo, 2012), información que se presenta de una mejor manera en la siguiente tabla, en dónde se ve mucho más detallada la división político-administrativa del municipio y el área que ocupan cada uno de los corregimientos.

Tabla 2. *División político-administrativa y extensión territorial del municipio de Restrepo.*

Corregimiento	Veredas	Área (ha)	%
Aguamona	Aguamona y La Italia	1564.13	8.02
La Palma	La Palma, Buen Vivir y Tres Puertas	1438.53	7.37
San Pablo	San Pablo, Calimita, Potrerillo, El Aguacate, Río Grande y Román	6640.09	34.03
San Salvador	San Salvador y El Silencio	3207.66	16.44
Santa Rosa	Santa Rosa, El Diamante, Alto del Oso, El Agrado, La Soledad y Ilima Agualinda	2924.05	14.99
Zabaletas	Alto y Bajo, Zabaletas, Madroñal, La Albania, La Belmira, Playa Rica y La Guaira	3647.72	18.70
Zona Urbana		88.5	0.45

UMATA et al. (2012).

Además de muestra un mapa del municipio de Restrepo, en dónde se ven la disposición de los corregimientos que lo conforman:

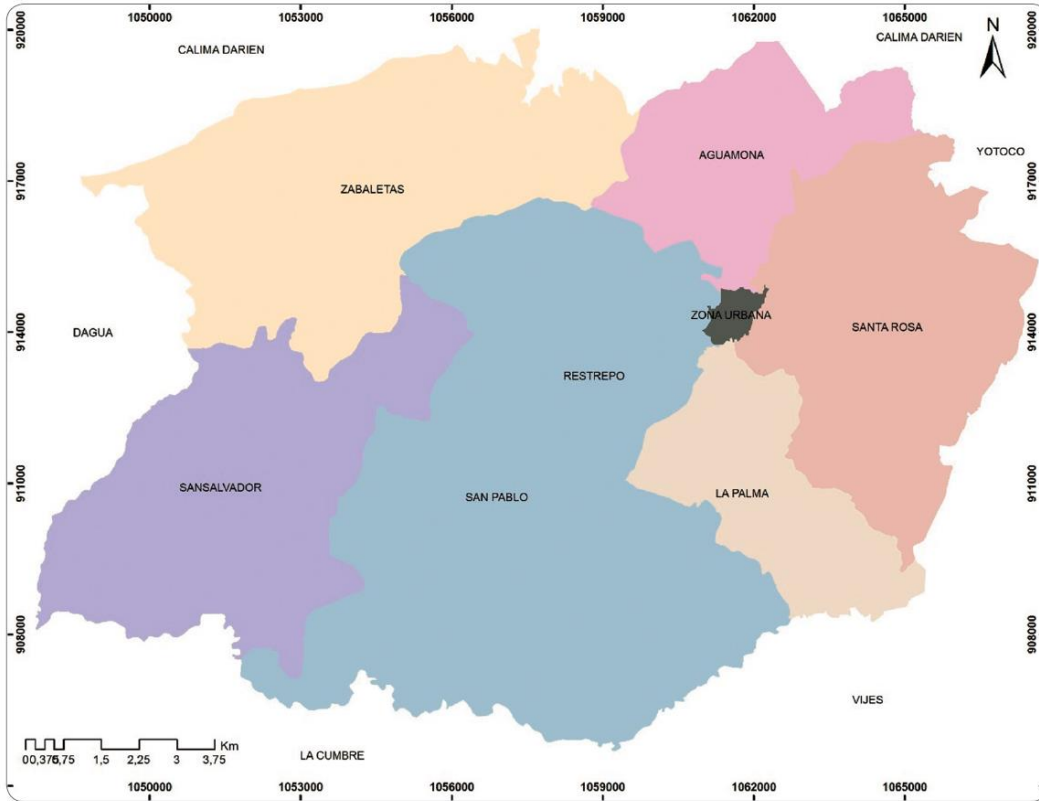


Figura 2. División político-administrativa del municipio de Restrepo

Extraído de: Base de datos cartografía CVC (2015).

3. ACUAPALTRES

3.1. ANTECEDENTES

El terreno dónde se encuentran actualmente los tanques de almacenamiento del acueducto de ACUAPALTRES está siendo aprovechado con fines de siembra (**Figura 3**), este terreno fue cedido hace más o menos 45-50 años, por el antiguo dueño de la finca aledaña, por medio de un acuerdo por “promesa”, en dónde se le pidió una parte del terreno de su finca para la construcción de los tanques de almacenamiento del sistema; en su momento, fue cedido muchísima más área que la vista actualmente, pero conforme han pasado los años y tras la muerte del dueño original, se ha llevado a cabo una reducción del predio dispuesto para los tanques por parte de los nuevos dueños de la finca (**Figura 4**), que alegan que ese terreno en donde están construidos los tanques no le pertenece a la asociación (ACUAPALTRES), por no existir escritura alguna que corrobore que ese terreno fue cedido por el dueño original, por lo que se propone llevar a cabo un proceso de prescripción, en dónde “por tradición”, esa parte de la finca sea cedida a la asociación de una manera formal.



Figura 3. Predio actual ya reducido.

Fuente: Autoría.



Figura 4. Detalle del tanque de almacenamiento del acueducto Acuapaltres, toma aérea

Fuente: Autoría.

Al sistema de acueducto le fue donada una planta de tratamiento compacta para el manejo de las aguas recolectadas en las bocatomas, pero no se tuvo en cuenta la presión del agua en el diseño hidráulico, por lo que el agua no alcanza a subir a las cotas de los tubos de ingreso desde los tanques para realizar el tratamiento del agua, y funcionalmente resulta obsoleta (**Figura No. 5 y 6**). El sistema antes funcionaba por medio de bombeo para hacer llegar el agua de las bocatomas al tanque de almacenamiento, pero a la larga ese sistema falló por falta de mantenimiento y los altos costos de energía lo hacían inviable para el sostenimiento

del acueducto, por lo que se optó por un sistema a gravedad que llevara el agua de las bocatomas al tanque de almacenamiento, de modo que se trasladaron artesanalmente las bocatomas 200 m sobre su cota anterior para que así el agua pudiera bajar por medio de la gravedad, lo que llevó a que se tuvieron que cambiar las tuberías de PVC por unas de acero para que pudieran soportar las altas presiones que el agua generaba en el sistema de conducción, quedando así las bocatomas a una altura aproximadamente de 1,700 msnm y el tanque a una altura de 1,640 msnm, dando así las diferencias de cotas que permite una llegada del agua por medio de la gravedad a presión. En temas legales, se está llevando a cabo una acción popular en contra de Cartones de Colombia y Smurfit Kappa por el mal uso de los suelos y la contaminación que está generando a las fuentes hídricas de la zona.



Figura 5. Tanque de potabilización de agua compacta fuera de servicio por antigua adecuación del acueducto.

Fuente: Autoría.



Figura 6. Tanques fuera de servicio y tanque principal de almacenamiento.

Fuente: Autoría.

3.2. LOCALIZACIÓN ACUAPALTRES

Los tanques de Acuapaltres se encuentran fuera del casco urbano del municipio de Restrepo, alejado entre unos 3 y 4 kilómetros de la oficina de Acuapaltres, en el centro del municipio. En vehículo se llega en aproximadamente 10 a 15 minutos (**Figura 7**).

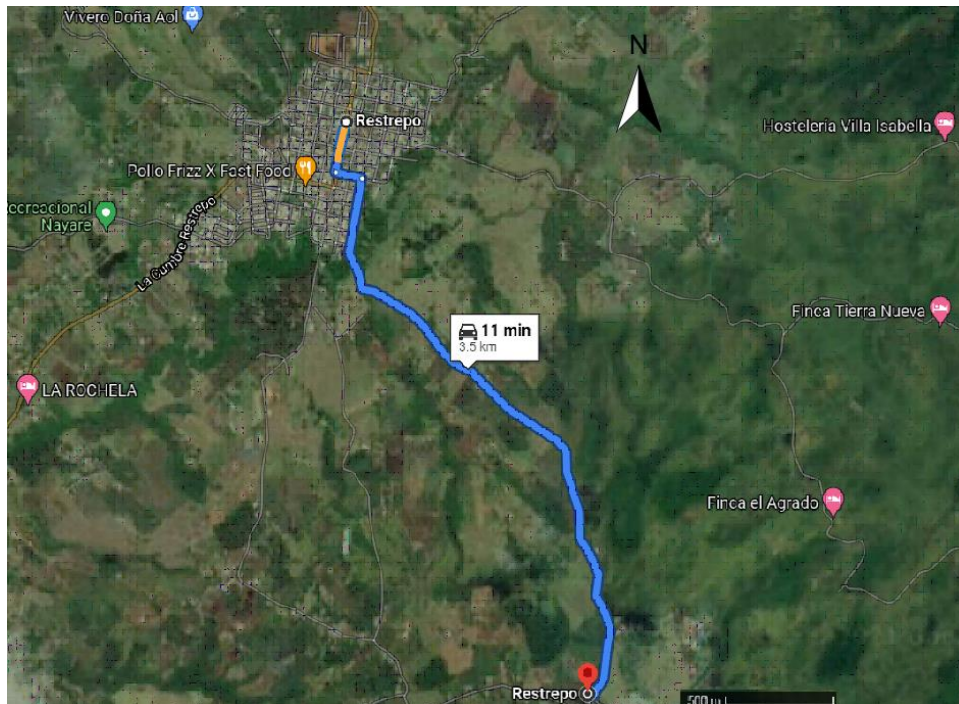


Figura 7. Ruta para llegar al acueducto de Acuapaltres desde Restrepo.

Adaptado de: Google Earth

3.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

La mayor parte del territorio es montañoso y su relieve corresponde a la vertiente oriental de la Cordillera Occidental de los Andes (**Figura 8**). Entre los accidentes geográficos se destacan las cuchillas de Calima y los cerros Chancos, situados en los límites con el Municipio de Calima El Darién. De igual manera, en la **Figura 9**, se presenta la ubicación del tanque de almacenamiento del acueducto Acuapaltres con respecto al municipio de Restrepo.

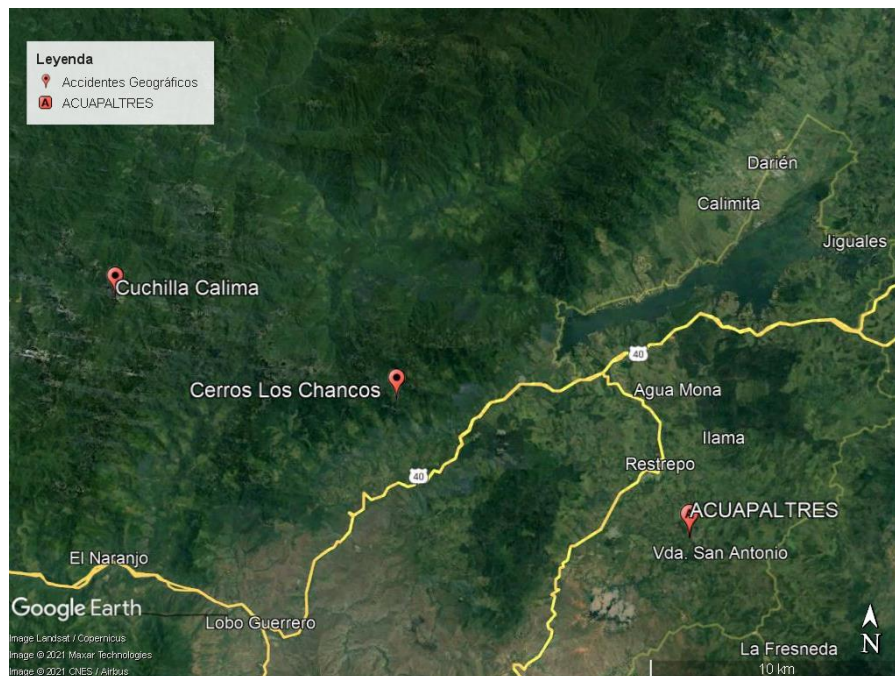


Figura 8. Accidentes orográficos.

Adaptado de: Google Earth

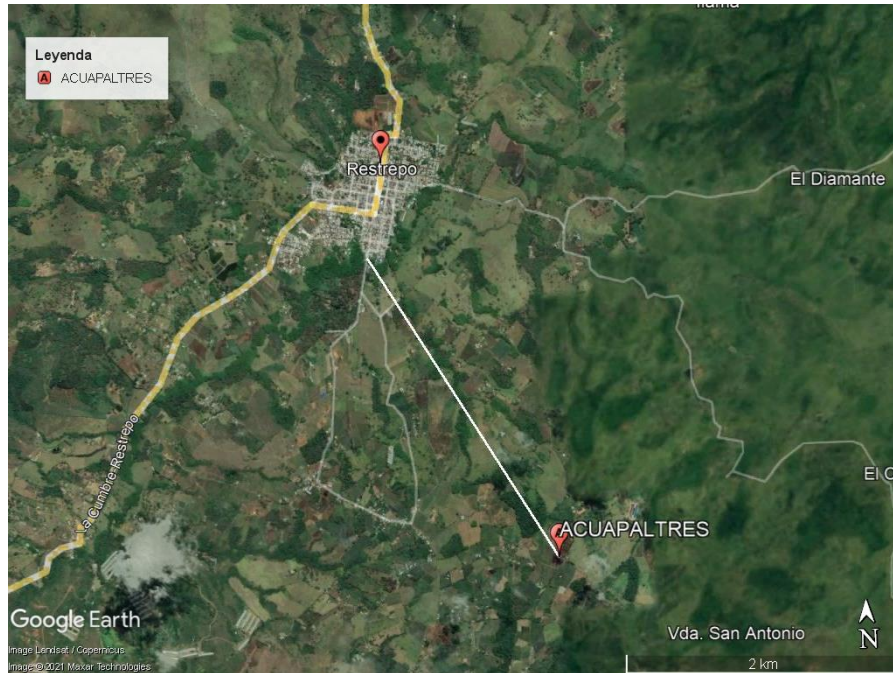


Figura 9. Ubicación de Acupaltres y el municipio de Restrepo

Fuente: Google Earth

3.3.1. Hidrografía

El Municipio de Restrepo está inmerso dentro del área de la UMC (unidad de mediación y consolidación) Dagua–Restrepo–La Cumbre, ocupando el 23.44% de esta unidad (Tabla 6). De las 27,776 Ha que conforman el Municipio de Restrepo, el 69.2% pertenece a la parte alta de la cuenca del Río Dagua, y el 30.8% restante a la cuenca media del Río Calima (Institución Educativa Jorge Eliecer Gaitán, 2004).

Tabla 3. Red Hidrográfica Restrepo Valle del Cauca (Plan Vial Restrepo, 2019)

CUENCA	SUB-CUENCA	MICROCUENCA	ÁREA [km ²]	%
RÍO DAGUA	RÍO GRANDE	Q. San Pablo	148,88	45,78
		Q. Bella Vista		
	Q. Calimita			
	Q. La Italia			
Q. La Cuqui				
Q. Miquera				
Q. Agua Linda				
Q. El Diamante				
Q. Sinai				
Q. Potrerillo				
Q. Río Grande				
Q. Aquamona				
RÍO ZABALETAS	Q. Zabaletas	42,83	13,17	
	Dos Quebradas			
	Q. La Lora			
	Q. El Silencio			
	Q. El Bosque			
	Q. La Albania			
	Q. Santa Bárbara			
Q. Playa Rica				
BAJO DAGUA	2,67	0,82		
Q. LA VIRGEN	Q. La Virgen	7,36	2,26	
	Río Bitaco			
RÍO BRAVO	Q. Guayaca	123,47	37,97	
	Q. Las Ollas			
	Q. Chachafruto			
	Q. Pital			
	Q. Chanco			
	Q. Cristalina			
AREA TOTAL		325,21	100,00	

Fuente: Plan Vial Restrepo, 2019.

3.3.2. Precipitación

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 57% el 7 de noviembre (**Figura 10**).

La temporada más seca dura 3.1 meses, del 9 de diciembre al 12 de marzo. La probabilidad mínima de un día mojado es del 31% el 10 de enero (**Figura 10**). En la precipitación promedio mensual se distinguen que hay 3 meses con altas intensidades de lluvia, mayo, octubre y diciembre (**Figura 11**). El mes con menos precipitación acumulada es en julio, aunque esto no quiere decir que sea el mes que menos días de lluvia tiene.

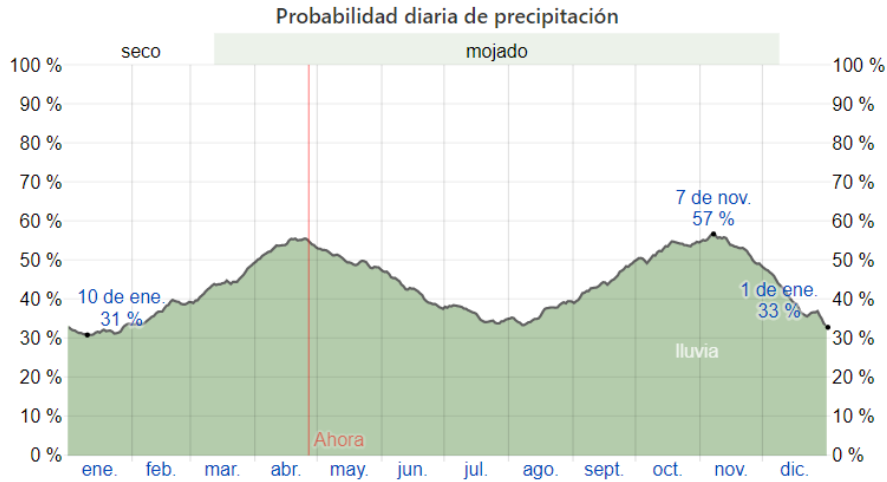


Figura 10. Precipitación Municipio de Restrepo Valle del Cauca.

Fuente: Weatherspark, 2021.

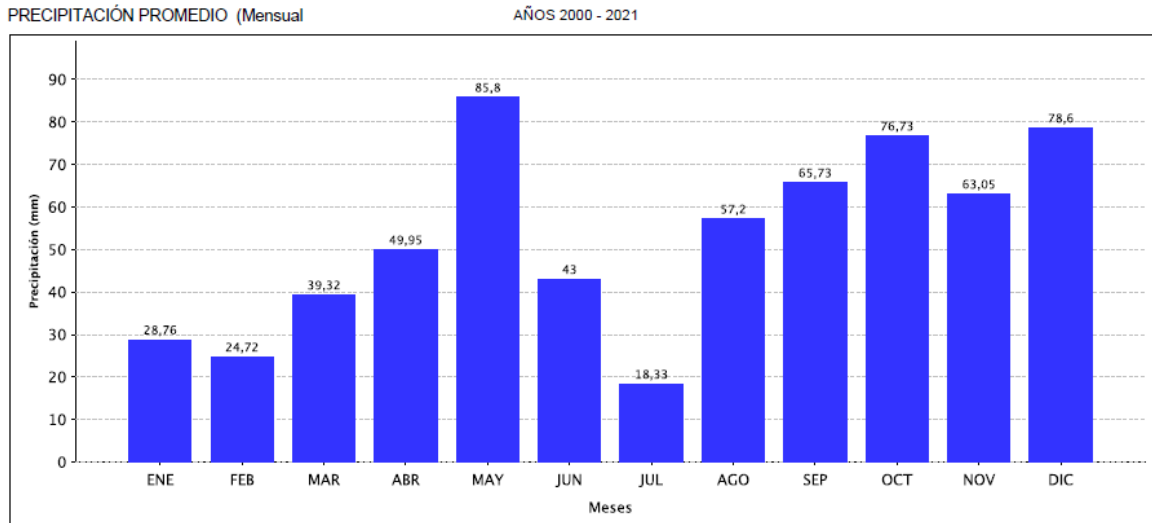


Figura 11. Precipitación promedio.

Fuente: CVC, 2000 - 2021.

3.3.3. Temperatura

En general, las temperaturas son muy uniformes a lo largo de todo el año puesto que la temperatura promedio oscila entre 18 y 20°C. Se le suma a lo anterior, que la temperatura en ningún mes del año la temperatura se sale del rango compuesto entre los 25°C y los 15°C. La disminución de la temperatura del aire en contacto con la tierra es de 1°C por cada 100m de altura. Las áreas boscosas presentan valores mínimos más elevados y valores máximos más bajos que en las zonas desérticas. La temperatura promedio en un área boscosa puede ser 1 o 2°C más baja que la temperatura en campo abierto en

condiciones similares, la diferencia aumenta durante el verano (CVC 2014).

3.3.4. Geología

La zona correspondiente al municipio de Restrepo contiene principalmente rocas Cretáceas: Formación Volcánica y Formación Espinal, Rocas Intrusivas: Stock de Zabaletas, Depósitos Lateríticos y Depósitos Aluviales y Conos Aluviales.

De acuerdo con la tectónica global, la zona correspondiente a Restrepo se considerada como una formación por la acreción de varios terrenos exóticos, se encuentran tres principales fallas: Falla de Roldanillo, Importante por su carácter regional, en donde esta se pone en contacto las rocas de la Formación Volcánica con las rocas del Complejo Ultramáfico de Bolívar; Falla Dagua-Calima, define el límite occidental de la secuencia esencialmente masiva de basaltos que conforman la porción oriental de la cordillera occidental; Falla Río Bravo, se presenta al occidente del municipio, en el corregimiento de Río Bravo, los buzamientos de las rocas se presentan invertidos al este, por el costado occidental de la falla, mientras que entre las Fallas Dagua-Calima y la del Río Bravo, están comúnmente invertidos hacia el Oeste.

3.3.5. Demografía

El 66.70% de la población del municipio de Restrepo se radica en la zona urbana y el 33.3% restante en el área rural. Hay un total de 15,304 habitantes en el municipio (**figura 12**).

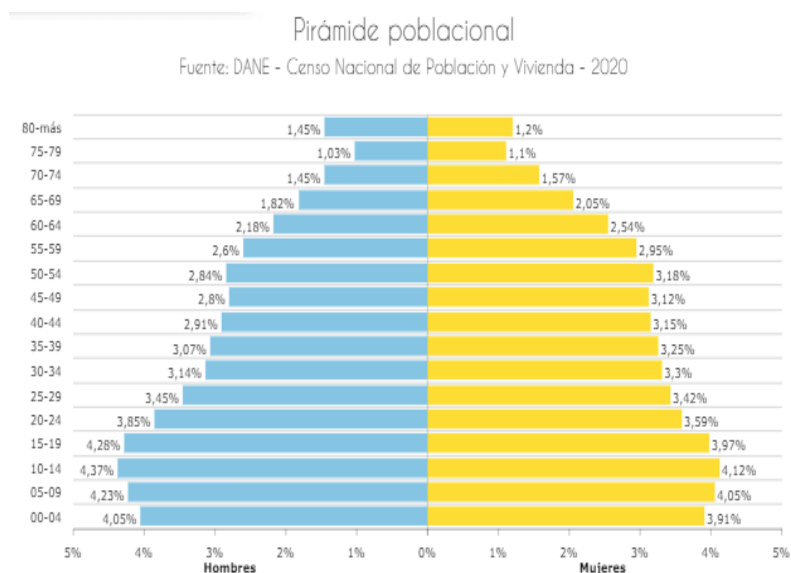


Figura 12. Distribución Poblacional Municipio de Restrepo Valle del Cauca.

Fuente: DANE.

3.4. DESCRIPCIÓN DEL ACUEDUCTO ACUAPALTRES

El acueducto de Acuapaltres se abastece por medio de 2 bocatomas de las quebradas de Calimitas y el Sinaí (**Figura 13 y 14**) con una longitud de conducción de 8.5 km y 6.5 km respectivamente, ambas con un diámetro de 4 pulgadas logrando un caudal total de 6 L/s, en ocasiones extremas de verano sin lluvias el caudal total es de 1 L/s; cuenta con tomas de agua de Calimitas (Agua de mejor calidad, se puede observar más clara) y Sinaí (animales de granja y E.Coli), se purifican con cloro al 70 (dosificación ya preestablecida) y un colador para residuos (**Figura 14**).



Figura 13. Centro de cloración y tuberías de abastecimiento de las quebradas Sinaí y Calimitas.

Fuente: Autoría



Figura 14. Bocatomas de las quebradas Sinaí y Calimitas.

Fuente: Autoría



Figura 15. Punto de cloración del agua.

Fuente: Autoría



Figura 16. Dosificación de cloro al 70%.

Fuente: Autoría

El sistema de acueducto de Acupaltres fue construido hace aproximadamente 40 años por la Federación de Cafeteros de Colombia (**Figura 17,18 y 19**), aún falta legalizarlo porque el terreno no pertenece a ellos entonces se debe realizar un proceso de prescripción por posesión y a 2020 sigue abasteciendo a 540 usuarios de la zona. Este acueducto funciona por gravedad aprovechando la zona de alta pendiente y cuenta con un desarenador en las bocatomas ya antes mencionadas.



Figura 17. Vista del tanque de almacenamiento del acueducto.

Fuente: Autoría



Figura 18. Tuberías de distribución del tanque principal.

Fuente: Autoría



Figura 19. Detalle de los dos tanques principales de almacenamiento y caseta de tratamiento.

Fuente: Autoría

Se presentaban muchas pérdidas en 2015 porque las tuberías no estaban en óptimas condiciones hasta que los usuarios aceptaron la ayuda de la asociación para disminuir estas pérdidas. Se cuenta con un micromedidor en cada casa y el precio mensual va de 0 a 25 m³ por un valor de siete mil pesos mensuales, adicional a esto por cada m³ se cobra mil quinientos pesos.

3.5. HISTORIA DE LA CONSTRUCCION DEL ACUEDUCTO

Inicialmente en Acuapaltres se trajo la conducción con tubería de PVC R21 y se utilizaba un sistema de bombeo a medio camino en la parte baja, ese bombeo fallo por falta de mantenimiento y costos de energía, se desechó y se cambió por un sistema de pendiente por gravedad implicando cambiar la tubería por una de acero.

Para lograr este cambio de sistema se subieron 200 metros las bocatomas de manera artesanal y actualmente el agua llega por gravedad. Actualmente el nombre de “Acueducto” se cambió porque no ofrecen agua potable por esta razón en este momento se llama Asociación.

3.6. PROBLEMÁTICA

Dentro de la problemática que presenta la red rural de distribución de agua Acuapaltres de veredas del municipio de Restrepo, se tienen los siguientes aspectos:

3.6.1. Mala Calidad del Agua

De acuerdo con la Unidad Ejecutora de Saneamiento del Valle del Cauca (UES), el agua del acueducto Acuapaltres no es apta para consumo humano.

La Resolución 2115 de 2007 señala las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. En el capítulo IV se define el Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA) como uno de los instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua para consumo humano.

El IRCA es el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano (Ministerio de Salud y Protección Ambiental de Colombia – Minsalud, 2014). El valor del IRCA es cero (0) puntos cuando cumple con los valores aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas contempladas en la presente Resolución y cien puntos (100) para el más alto riesgo cuando no cumple ninguno de ellos (**Tabla 4**).

Para el cálculo del IRCA se asigna un puntaje de riesgo a cada característica física, química y microbiológica, por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos tal como se muestra en la Tabla 3 de la Resolución No. 2115 de 2007.

Tabla 4. Puntaje de riesgo según IRCA.

Características	Puntaje de riesgo	Características	Puntaje de riesgo
Color aparente	6	Dureza total	1
Turbiedad	15	Sulfatos	1
pH	1,5	Hierro total	1,5
Cloro residual libre	15	Cloruros	1
Alcalinidad total	1	Nitratos	1
Calcio	1	Nitritos	3
Fosfatos	1	Aluminio	3
Magnesio	1	Fluoruros	1
Molibdeno	1	COT	3
Manganeso	1	Coliformes totales	15
Zinc	1	Escherichia coli	25
Sumatoria de puntajes asignados		100	

Fuente: Minambiente (2007).

Los cálculos de los IRCA mensuales de control son realizados por parte de la persona prestadora del servicio. Teniendo en cuenta los resultados del IRCA por muestra y del IRCA mensual, se define la clasificación del nivel de riesgo del agua suministrada para el consumo humano por la persona prestadora del servicio de acueducto y se señalan las acciones que debe realizar la autoridad sanitaria competente.

Cuando el puntaje resultante está entre 0 y 5% el agua distribuida es apta para consumo humano y se califica en el nivel sin Riesgo. Cuando el IRCA está entre 5,10 y 14% ya no es apta para consumo humano, pero califica con nivel de riesgo bajo. Entre 14,10 y 35% califica con nivel de riesgo medio y no es apta para consumo humano. Cuando el IRCA clasifica entre 35,10 y 80% el nivel de riesgo es alto y entre 80,10 y 100% el agua distribuida es inviable sanitariamente (**Tabla 5**).

Tabla 5. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA.

Clasificación IRCA (%)	Nivel de riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
80,1 -100	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo con su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35,1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo con su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos
14,1 – 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5,1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia

Fuente: Minambiente (2007)

A partir de un informe de ensayos de agua para consumo humano presentado en el mes de agosto de 2020, se obtuvieron los resultados del muestreo tomado en el acueducto (**Tabla 6**). Según las características fisicoquímicas y microbiológicas evaluadas, las muestras obtuvieron un riesgo medio dentro del Índice de Riesgo para la Calidad del Agua potable (IRCA), es decir, el agua no es apta para consumo humano, según lo establecido en el artículo 15 de la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Tabla 6. Resultados análisis de la calidad del agua para consumo humano.

IRCA Acuapaltres					
ANÁLISIS IN-SITU					
Característica	Método	Resultado	Unidades	Valores Aceptables	Diagnóstico
pH In-Situ	EPA 9040 C	7.7	Unidades de pH	650-900	Aceptable
Cloro Residual Libre In-Situ	Fotométrico	1.3	mg Cl ₂ /L	0.30-200	Aceptable
Temperatura In-Situ	Termómetro	23.8	Grados Celsius	0-60	Aceptable
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS					
Característica	Método	Resultado	Unidades	Valores Aceptables	Diagnóstico
Alcalinidad Total	ASTM 1067-11 B (Indicador)	57	mg CaCO ₃ /L	0-200	Aceptable
Calcio	SM 2340 C	9	mg Ca/L	0-60	Aceptable
Cloro Residual Libre	Fotométrico	1.3	mg Cl/L	0.30-2	Aceptable
Cloruros	ASTM 512-10-B	5	mg Cl - /L	0-250	Aceptable
Coliformes Totales	Ensayo Enzima-Sustrato	0	UFC/100ml - NMP/100 ml	0-0	Aceptable
Color Aparente	Fotométrico	37	UPC	0-15	No Aceptable
Dureza Total	ASTM 1126-02 (2007)	58	mg CaCO ₃ /L	0-300	Aceptable
E. Coli	Ensayo Enzima-Sustrato	0	UFC/100ml - NMP/100 ml	0-0	Aceptable
Fosfatos	EPA 300	0.11	mg PO ₄ 3-/L	0-0.5	Aceptable
Nitritos	Fotométrico	0.01	mg NO- /L	0-0.10	Aceptable
pH	EPA 1664	7.7	Unidades de pH	6.50-9	Aceptable
Sulfatos	ASTM C 1580-09	12	mg SO ₄ 2-/L	0-250	Aceptable
Turbiedad	EPA 180.1	4.05	UNT	0-2	No Aceptable
ÍNDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA IRCA					
Características para IRCA: 13		IRCA Básico: 24.2774		IRCA: 24.2774	
Nivel de Riesgo: MEDIO					

Fuente: Minambiente (2007).

En el informe se aprecia que la muestra presenta un alto nivel de turbiedad, esto se debe a la mala utilización de las zonas de protección, las cuales se ven afectadas por la deforestación presente en la zona, causando así el arrastre de materiales contaminantes. Igualmente, uno de los factores que afecta en gran cantidad este índice es la presencia de heces fecales de animales en las muestras de agua, en el informe no se puede apreciar la presencia de dicho factor puesto que este no es constante en el agua, cambia cuando el ganado pasa por las zonas de la cuenca que abastece las bocatomas. Puesto que en los momentos en los que se han tomado las muestras para realizar la clasificación fisicoquímica del agua no se tenía presencia de coliformes, en la **Figura 20** se muestra cómo afecta el ganado a la calidad del agua, ejemplificando la realidad y por qué no se expone este dato en el informe tal como se plantea.

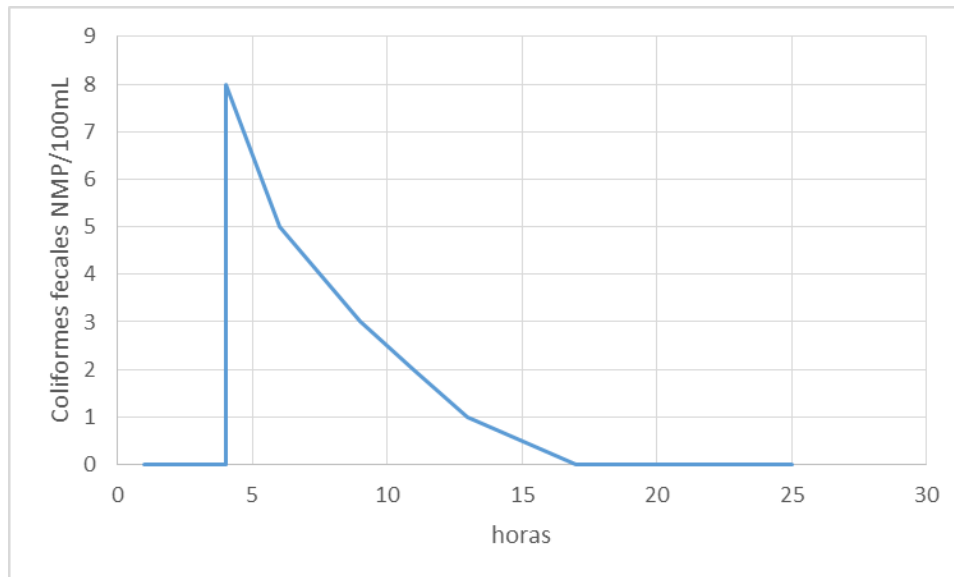


Figura 20.

En la zona de almacenamiento de agua se tiene un sistema de goteo de cloro para la descontaminación del agua que proviene de las cuencas El Sinaí y La Tobón - Calimita. Pero, de igual forma, esto no reduce el IRCA para que las muestras de agua sean clasificadas como sin nivel de riesgo.

3.6.2. Escasez Hídrica

El acueducto debe satisfacer a la población creciente de las 7 veredas que se benefician de esta red rural. Años atrás, se agregó el sistema de la cuenca El Sinaí debido al poco caudal obtenido con el sistema de la cuenca La Tobón-Calimita. Hoy en día, este caudal no da abasto a las más de 300 familias que usan este servicio. En época de estiaje el caudal de las dos cuencas no logra abastecer las 7 veredas, teniendo un exceso de 170 familias, lo que ha llevado a la comunidad a realizar el racionamiento del servicio.

3.6.3. Problemas Legales y Ambientales

Hace aproximadamente 3 años se solicitó y se aceptó un macroproyecto de un acueducto que pueda abastecer agua apta para el consumo humano, y que pueda abastecer a 11 veredas del municipio de Restrepo.

En enero de 2019, se llevó a cabo una acción popular de sentencia de primera instancia, donde el Tribunal Administrativo del Valle del Cauca resolvió lo siguiente:

1. Proteger los derechos colectivos sobre el goce de un ambiente sano y la existencia del equilibrio ecológico y aprovechamiento racional de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución de la Ley de 1998, conforme a las razones expuestas.

2. Se ordena a la empresa Smurfit Kappa Cartón de Colombia, que una vez 22

culminada la etapa de cosecha forestal del bosque plantado ya existente dentro del área de protección, que corresponde a una distancia de 30 metros de ancho paralela a las líneas a cada lado y 100 metros desde los nacimientos de las cuencas; así mismo Deberá indicar la compañía al despacho, en un término máximo de 3 meses, la fecha estimada para culminar la etapa de cosecha en dichas áreas, al igual que deberá remitir dicha información a la CVC.

3. Se ordena a la Corporación Autónoma Regional del Valle – CVC que, una vez culminada la etapa de cosecha de aprovechamiento forestal de Smurfit Kappa Cartón de Colombia, en las áreas de protección, es decir, en el rango de 30 metros desde el cauce de las cuencas y 100 metros desde los nacimientos, proceda a la siembra de bosque natural a efectos de que permanezca siempre la zona protegida con protección boscosa libre de aprovechamiento forestal.
4. Se ordena a la Corporación Autónoma Regional del Valle – CVC que, dentro del término de un mes, continúe de manera celeré con la actuación administrativa adelantada en contra de Smurfit Kappa Cartón de Colombia S.A, sobre el proceso sancionatorio aperturado mediante Auto 0706-0761 Nro. 048 de 2016- Deberá informar cada dos (2) meses al despacho, al estado de la actuación adelantada y el estado del proceso administrativo.

Se espera una sentencia de segunda instancia para el proceso legal.

4. MARCO NORMATIVO

4.1. Ejecución de obras

La ejecución de obras relacionadas con el sector de agua potable y saneamiento básico debe llevarse a cabo con sujeción al Plan de Ordenamiento Territorial de cada localidad, en los términos del Capítulo III de la Ley 388 de 1997.

4.2. Acueducto y alcantarillados

La resolución 1096 de noviembre de 2000 adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Este reglamento hace referencia al Decreto 475 de 1998 expedido por los Ministerios de Salud y Desarrollo Económico por el cual se expiden las normas técnicas de calidad del agua potable, su nueva actualización corresponde a la Resolución 0330 de 2017 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Las Normas de Calidad de los vertimientos a los cuerpos de agua contenidas en el Decreto 1594 de 1984 expedido por el Ministerio de Salud.

4.3. Construcciones

La Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-10), expedida mediante el Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, corresponde a su segunda actualización, por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes en Colombia.

5. DISEÑO CONCEPTUAL

Teniendo en cuenta que la gestión del agua para el Municipio de Restrepo implica un fuerte componente regional que aborda tanto el abastecimiento, su distribución y el sistema de drenaje a través del sistema de alcantarillado, se necesitará mejorar la calidad de agua. Para esto, se tomaron en cuenta tres (3) alternativas posibles para mejorar la turbiedad, el color aparente y la posible presencia de bacterias coliformes del agua, disminuyendo a su vez el riesgo de contraer enfermedades de origen hídrico. A continuación, se presenta y describe los parámetros generales de las alternativas que se tuvieron en cuenta para mejorar la calidad del agua que distribuye este acueducto para las diferentes veredas de la zona.

5.1. Planta FiME

FiME es una combinación de dos tipos de pretratamiento con filtración en grava y tratamiento con filtración lenta en arena (FLA). La integración de estas etapas de filtración permite el tratamiento de aguas con niveles de contaminación más elevados que aquellos con los que puede operar la tecnología de FLA independientemente, sin sacrificar las bondades asociadas con sus bajos requerimientos de infraestructura física y de mano de obra con mínimo nivel de escolaridad [1]. En este caso Restrepo, en la vereda de Tres Puertas, se encuentra con un nivel de riesgo medio según IRCA, 2020.

5.1.1. Aplicación

Las plantas FiME son utilizadas en sistemas de tratamiento para poblaciones rurales o pequeñas localidades, cuya fuente de abastecimiento de agua se ajuste a las normas de calidad de agua cruda requeridas para un tratamiento por filtración en múltiples etapas.

5.1.2. Proceso

El tratamiento consiste primeramente en separar el material de mayor tamaño cuando el agua pasa sobre la grava y parte de ella es captada a través del lecho, y a su vez ir avanzando gradualmente en la remoción hacia el más pequeño eliminando microorganismos e impurezas, para finalizar con la barrera de desinfección.

Con niveles estables de sólidos en la fuente, las unidades de filtro grueso, se obstruirá gradualmente, y ante cambios bruscos, la colmatación será más rápido y una fracción significativa o, eventualmente, el total del flujo captado fluirá sobre el lecho colmatado y retornará a la fuente, protegiendo de esta manera las etapas de tratamiento de relativamente más difíciles de operar y mantener [2].

Aunque la tecnología FiME no es tan antigua, existen antecedentes sobre la sostenibilidad de su funcionamiento en comunidades colombianas [3], donde han sido construidos sistemas de tratamiento, a partir de las cuales, la experiencia está siendo replicada en otras regiones y países, contribuyendo de esta manera, a mejorar las condiciones de calidad de vida, particularmente en los servicios de agua y saneamiento para millones de personas, quienes no han tenido acceso al abastecimiento de agua potable y a adecuadas condiciones de saneamiento.

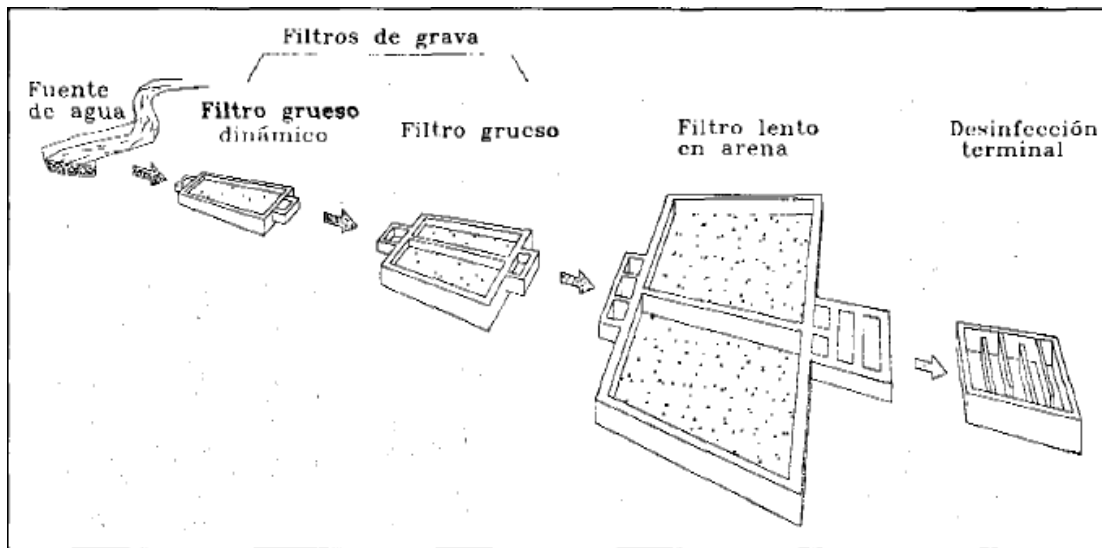


Figura 21. Sistema de Filtración de Múltiples Etapas.

Fuente: OPS/CEPIS/ UNATSABAR, 2005.

5.1.3. Filtro Grueso Dinámico (FGD)

Tabla 7. Datos de entrada para calcular las dimensiones del FGD.

FILTRO GRUESO DINÁMICO (FGD)		
Datos		
Caudal de diseño	10.59	m ³ /h
Caudal de diseño	2.94	l/s
Tasa de filtración	2	m/h
Área Total	5.30	m ²
Número de módulos	2	
Área de cada módulo (Am)	2.65	m ²
a (adoptado)	1.8	M
b (adoptado)	1.5	M
Área Adoptada	2.7	m ²

5.1.4. Filtro Lento en Arena

Tabla 8. Datos de entrada para calcular las dimensiones del FLA.

FILTRO LENTO EN ARENA (FLA)		
Datos		
Caudal de diseño	10.59	m ³ /h
Caudal de diseño	2.94	l/s
Tasa de filtración	0.15	m/h
Área Total	70.60	m ²
Número de módulos	2.1	3
Área de cada módulo (Am)	23.53	m ²
a (requerido)	6.00	M
b (requerido)	3.92	M
a (adoptado)	5.9	M
b (adoptado)	4	M
Área Adoptada	23.6	m ²

Mediante todo lo mencionado anteriormente se logra plantear una posible FiME que realice el tratamiento del agua para el acueducto, siendo este el de la siguiente figura:

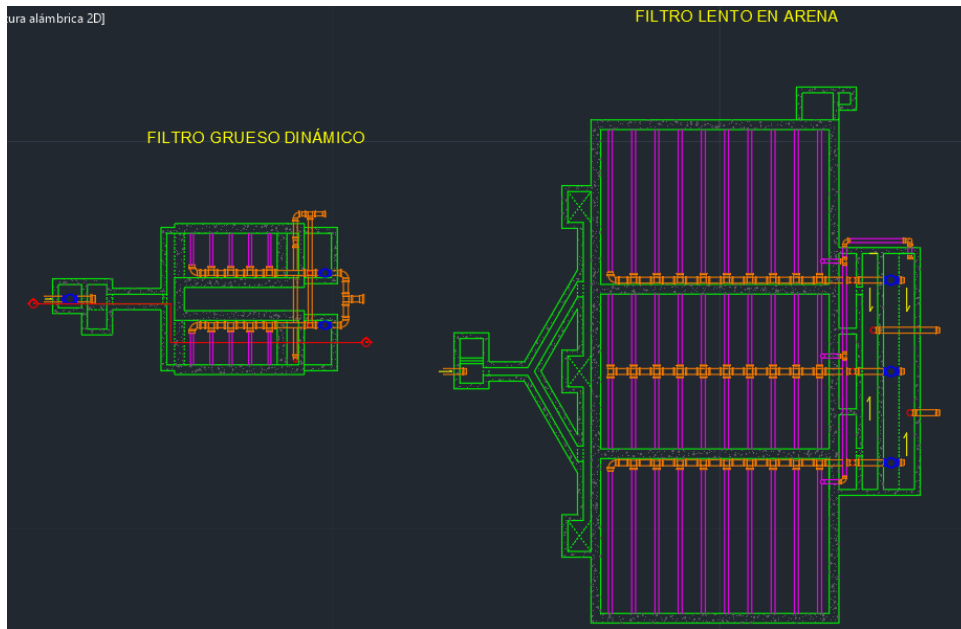


Figura 22. Planteamiento de planta FiME.

Fuente: Autoría.

5.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA COMPACTA

Esta alternativa consiste en un sistema de potabilización compacto que debe garantizar la calidad del agua en los procesos operados desde un módulo, para ello se implementan nuevos métodos de potabilización del agua, estos requieren menos infraestructura que los convencionales en su desarrollo; De esta forma, se pueden encontrar conexiones entre las etapas como con la decantación y floculación mediante la recirculación de mantos de fangos,

En cuanto a filtración se utilizan filtros de arena abiertos y filtros de carbón activado en granos abiertos, para ello es necesario definir el tamaño de grano del lecho filtrante y la altura del lecho obtenida previamente, todo esto garantiza un pretratamiento de excelente calidad, dando paso a los procesos de aireación, desferrificación biológica, eliminación de nitratos, fluoruros, arsénico y micro contaminantes orgánicos, y posteriormente la desinfección y liberación del agua tratada. A continuación, en la figura 17 se presenta un esquema de la planta de tratamiento de agua potable compacta.

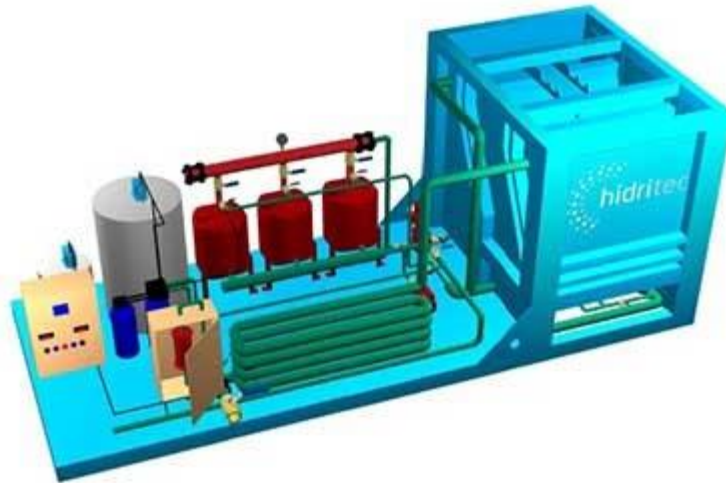


Figura 23. Esquema de planta de tratamiento de agua compacta.

Fuente: Hidritec

5.2.1. Proceso

El tratamiento consiste inicialmente en la coagulación, donde se eliminan las impurezas que contiene el agua mediante la adición de coagulantes o sustancias químicas distribuidas uniformemente, removiendo la turbiedad, color y demás bacterias que se puedan presentar. Se continúa con el proceso de floculación el cual consiste en aglomerar las partículas que han sido aglutinadas en el proceso de coagulación mediante una agitación moderada.

Seguido de esto, se aplica la fase de separación la cual está constituida por los procesos de sedimentación y filtración, su principal objetivo es separar las partículas sólidas que ya se han coagulado del agua, y son de gran utilidad para remover el color y la turbiedad que presenta el recurso hídrico. Finalmente, se realiza el proceso de desinfección el cual consiste en remover aquellos organismos que causan enfermedades, disminuyendo de esta forma el riesgo de contraer enfermedades de origen hídrico

En cuanto a la implementación de esta alternativa, se presentan problemas dado que los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección requieren de ensayos específicos del agua presente en el acueducto para así obtener todos los datos necesarios para calcular y determinar cada aspecto de estos procesos.

5.3. DESARENADORES

Esta alternativa consiste en ubicar un componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.

Los desarenadores son estructuras ubicadas a continuación de una captación de agua y que permiten remover partículas como arenas arcillas, gravas finas y material orgánico de cierto tamaño contenidas en el agua que ingresa de una fuente superficial, es una estructura casi obligada y el objetivo principal es proteger la línea de conducción, equipos y accesorios instalados aguas debajo de la captación, evitando problemas de

erosión y/o acumulación de materiales que pueden producir desgastes en el sistema. La sedimentación de las partículas en suspensión es debida a la acción de la gravedad y se facilita por la disminución de la velocidad horizontal en el tanque desarenador. En la figura 18 presentada a continuación se observa un esquema del desarenador propuesto.

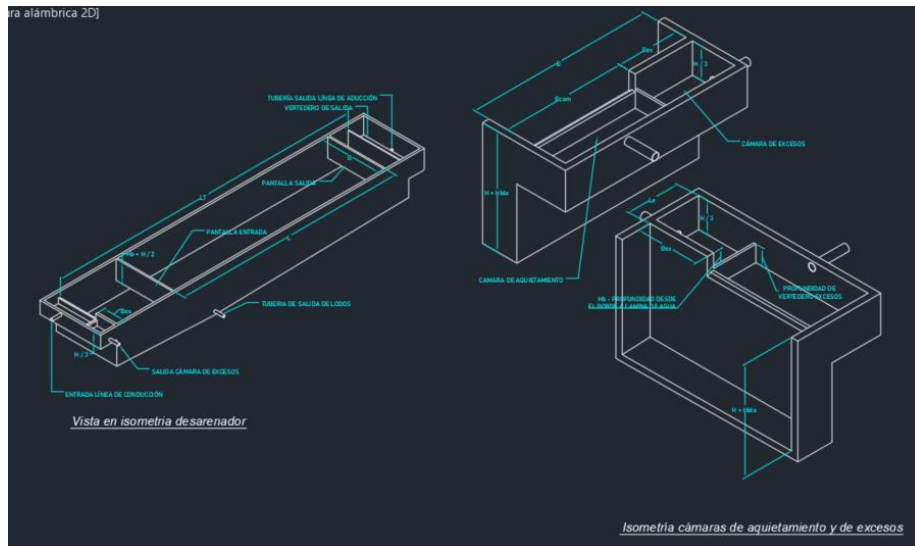


Figura 24. Esquema de desarenador.

Fuente: Autoría

5.3.1. Operación

La operación de los desarenadores básicamente es llevar una vigilancia de la eficiencia de este para proceder a la evacuación de los sedimentos acumulados en el fondo de la unidad. Esta vigilancia está relacionada con el control del caudal que ingresa a la unidad y el control de la calidad de agua efluente. Para la operación de un desarenador debemos tomar en cuenta las siguientes actividades:

5.3.1.1. Medición y control de caudal:

- Verificar el nivel de agua en el dispositivo de aforo de cada unidad.
- Ajustar la válvula de entrada hasta alcanzar el caudal de operación.

5.3.1.2. Medición de turbiedad:

- Medir la turbiedad del agua a la entrada de la unidad.
- Medir la turbiedad del agua a la salida de la unidad.

5.3.1.3. Evacuación de lodos y/o sedimentos.

- Disponer la evacuación de sedimentos del fondo de la unidad, cuando la diferencia entre de turbiedad del agua efluente y el afluente sea baja.

5.3.1.4. Registro de información

- Anotar en el libro de registro diario los valores de turbiedad en el ingreso y salida de la unidad.
- Cambios en el caudal de la fuente durante el día.

- Fecha de lavado de la unidad.

5.3.2. Parámetros de diseño requeridos

Su construcción demanda tener una longitud y ancho adecuado para que los sedimentos se depositen, sin ser demasiado voluminosos o caros. Deben permitir una fácil eliminación de los depósitos. Tener una capacidad suficiente para permitir la acumulación de sedimentos.

El diseño de una estructura hidráulica como estas requiere el análisis de la calidad de agua de la fuente, análisis de riesgo y vulnerabilidad de instalaciones

Los análisis requeridos para la selección de un sistema de tratamiento deben basarse, como mínimo, en los siguientes parámetros básicos de calidad del agua: E. Coli, se aceptan como alternativa y la turbiedad.

Los criterios de diseño de para un desarenador son los siguientes:

- El número de unidades mínimas en paralelo es 2 para efectos de mantenimiento. En caso de caudales pequeños y turbiedades bajas se podrá contar con una sola unidad que debe contar con un canal de by-pass para efectos de mantenimiento.
- Se recomienda una relación longitud a profundidad L:H mínima de 6:1
- La relación longitud a ancho L:B puede estar entre 4 1 y 8 1 para asemejarse a perfil de velocidad plano.
- Profundidad mínima de 1 50 m y máxima de 4 50 m.
- El periodo de operación es de 24 horas por día.
- Debe existir una transición en la unión del canal o tubería de llegada al desarenador para asegurar la uniformidad de la velocidad en la zona de entrada.
- Profundidad de almacenamiento de lodos de 0 4 m (Pendientes del fondo sugeridas entre el 1 y el 8 % (evacuación de lodos y seguridad en labores de limpieza)
- El tiempo de una gota de agua en entrar y salir del tanque debe estar entre 0 5 h y 4 h
- El caudal por unidad de área superficial debe estar entre 200 y 400 m³/m² día

5.3.3. Selección Tratamiento Agua Potable

Para la selección y diseño de la tecnología de tratamiento de agua potable se siguen los siguientes pasos:

1. Selección de la tecnología.
2. Sostenibilidad de la tecnología.
3. Disponibilidad de recursos y materiales.
4. Riego sanitario en la fuente de abastecimiento.
5. Eficiencia de la tecnología de tratamiento.
6. Diseño hidráulico de PTAP.

5.3.4. Selección de la tecnología para la potabilización del agua

Existen muchas opciones tecnológicas de tratamiento de agua, la selección de la más apropiada para una comunidad específica aún continúa siendo un desafío, teniendo en cuenta todos los factores técnicos, socioeconómicos, ambientales, entre otros, que influyen en esta decisión y que, a su vez, pueden resultar siendo limitantes, como el nivel de ingresos de una comunidad o su capacidad de gestión. La superación de estos retos requiere de criterio y trabajo metódico, para decidirse por una solución económica y sencilla de operar, mantener y administrar.

5.4. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

La selección de la alternativa se realizará mediante un cuadro comparativo de las 3 iniciativas validando el contexto ecológico, económico y social, todos los atributos evaluados en la matriz de decisión se realizará en una escala de 1 a 3, siendo 1 el de menor puntaje y 3 el de mayor, para al final sumar y evaluar cual alternativa es la más viable según los atributos propuestos en la evaluación.

5.4.1. CUADRO COMPARATIVO

A continuación, en la tabla 7, se presenta la comparación de las tres alternativas en cuanto a sustentabilidad del proyecto en estudio.

Tabla 9. Cuadro Comparativo de Alternativas.

CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE								
OPCIÓN NO.	DESCRIPCIÓN	SUSTENTABILIDAD ECOLÓGICA			SUSTENTABILIDAD ECONÓMICA		SUSTENTABILIDAD SOCIAL	
		Ecosistema	Salud Humana	Recursos Naturales	Mantenimiento	Costos	Satisfacción	Desarrollo Regional
1	Planta Compacta	Riesgo Bajo-Medio	Mejoramiento de las propiedades física y químicas del agua por adición de sustancias químicas	Extracción del recurso hídrico, reducción de caudal del afluente	Bajo coste de mantenimiento	Costo alto de operación por el manejo de las sustancias químicas	Satisfacción media de la sociedad frente a seguir con componentes del acueducto que están presentes desde hace varios años	Genera un buen desarrollo para la región pues se requiere de personal con alta cualificación para la construcción de la planta
2	Planta FiME	Riesgo Bajo-Medio	Mejoramiento de la turbiedad del agua por medios físicos y reducción del uso del cloro	Extracción del recurso hídrico, reducción de caudal del afluente	Costo medio de mantenimiento	Costo alto debido a la adquisición requerida de nuevo terreno	Buena satisfacción de la población frente a una solución poco vista por las personas, presentando dicha solución como algo innovador	Incentiva en gran medida la apropiación de la sociedad para con el acueducto y su cuidado, ya que se requieren personas para la construcción y mantenimiento de la planta
3	Desarenador	Riesgo Bajo-Medio	Mejoramiento de la turbiedad del agua por medios físicos	Extracción del recurso hídrico, reducción de caudal del afluente	Bajo coste de mantenimiento	Costo bajo utilizando materiales y herramientas del sector	Gran satisfacción social, ven la planta en uso en distintos municipios y más natural por tener una filtración por etapas y más larga que otros métodos.	Incentiva en gran medida la apropiación de la sociedad para con el acueducto y su cuidado, ya que se requieren personas para la construcción y mantenimiento del desarenador

Fuente: Autoría.

Tabla 10. Puntajes - Matriz de Decisiones.

CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE							
OPCIÓN NO.	DESCRIPCIÓN	SUSTENTABILIDAD ECOLÓGICA			SUSTENTABILIDAD ECONÓMICA		
		Ecosistema	Salud Humana	Recursos Naturales	Mantenimiento	Costos	
1	Planta Compacta	3	2	1	3	1	2
2	Planta FiME	3	3	1	2	1	1
3	Desarenador	3	1	1	3	3	3

Fuente: Autoría.

Tabla 11. Puntaje Total de las Alternativas.

OPCIÓN NO.	DESCRIPCIÓN	PUNTAJE GENERAL
1	Planta Compacta	12
2	Planta FiME	15
3	Desarenador	17

Fuente: Autoría.

Después de realizado el análisis del cuadro comparativo, generando la matriz de decisión, se analiza que estas alternativas cumplirían con el objetivo general de mejorar la calidad de agua. Por el lado de la planta compacta, se utilizan muchos químicos para tratar el agua, por lo tanto, aumentaría los costos, pero esta es la alternativa que cumpliría con el espacio disponible para utilizar en el terreno. De la misma forma que en la propuesta anterior el espacio es clave para planta FiME, puesto que el área o terreno disponible para la construcción de la obra es muy poca, por lo tanto, esto generaría un aumento en los costos, dificultad para el mantenimiento y normal funcionamiento de la planta y problemas legales con el propietario de los terrenos vecinos que rodean el lote disponible. Y finalmente, se observa que el desarenador si cumple con el espacio disponible para la construcción y mejora la calidad de agua frente a las problemáticas presentes en el agua de este acueducto. Dado lo anterior, se escoge la alternativa de la construcción de un desarenador el cual se mostrará el diseño estructural

6. ESTUDIOS PREVIOS DISEÑO HIDRÁULICO.

6.1. Estudio hidrológico.

Para el diseño de las estructuras del acueducto se busca tener una descripción del comportamiento de variables hidrológicas a nivel de cuenca y subcuenca partiendo de

la información de la red hidrológica. El análisis de la precipitación sobre la cuenca y la estimación de la evapotranspiración nos ayudara a identificar el comportamiento de estas variables sobre la zona de estudio.

Para entender la forma y composición de la cuenca se utilizó la ayuda del software QGIS el estudio de cuenca hidrológica perteneciente al acueducto de Acuapaltres (marcado con un polígono de color verde), a partir de la información referente a la elevación se produjo un mapa de flujo acumulado y de dirección de flujo lo cual se puede observar a continuación en la **Figura 25**. Esto nos facilitó encontrar cuales son los afluentes que afectan el acueducto.



Figura 25. Dirección y acumulación de flujo.

Fuente: QGIS.

A partir de esto se hace uso de la función “r.water.outlet” la cual permite delimitar la cuenca, que se presenta a continuación con su debida elevación (**Figura 26**).



Figura 26. Cuenca hidrológica y elevación – Restrepo, Valle del Cauca.

Fuente: QGIS.

A partir de esta delimitación se puede mostrar de una forma más adecuada la acumulación de agua en la cuenca y también se puede determinar la longitud de cresta mayor (Figura 27).

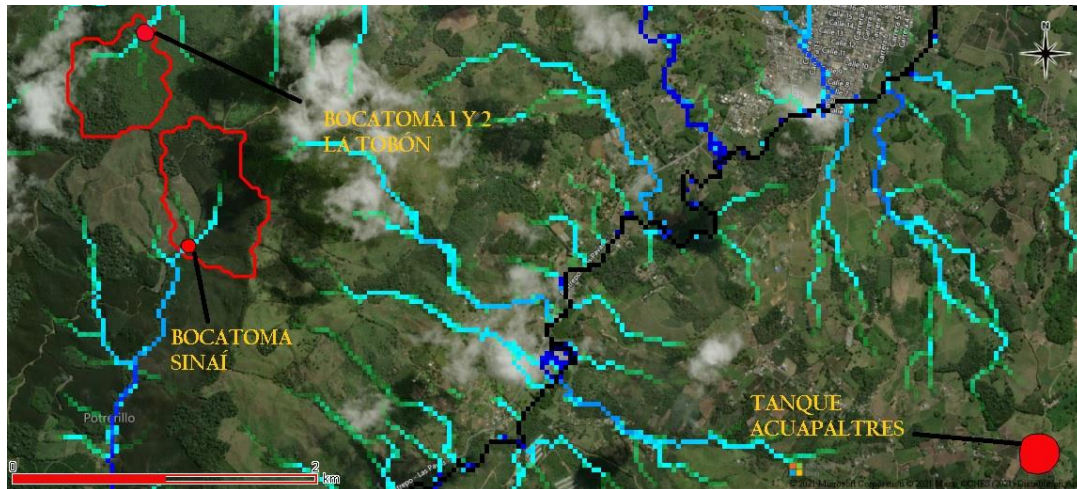


Figura 27. Acumulación en cuencas.

Fuente: QGIS.

También teniendo la cuenca debidamente ubicada se pueden obtener los datos propios de la misma los cuales se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 12. Características cuenca hidrológica.

Cuenca	Área (km ²)	Altura media (msnm)	Altura máxima (msnm)	Altura mínima (msnm)
Sinaí	0,52	1818	1742	1927
Bocatoma 1 y 2	0,394	1847	1747	1937

Fuente: Autoría.

6.2. Crecimiento poblacional.

Según los registros del acueducto Acuapaltres, se abastecen a 540 suscriptores, ubicados en Restrepo Valle entre las veredas Buenvivir, La Palma, Tres Puertas y Agrado. Considerando que cada suscriptor representa 3 habitantes (dato obtenido del DANE para promedio de habitantes por hogar en zonas rurales del municipio de Restrepo, Valle del Cauca – 2.93), se puede hallar la población de diseño.

Para calcular la proyección de la población dentro de 25 años se utilizó el método aritmético al ver una tendencia a aumentar (Figura 21) desde el año 1990 en adelante, los datos suministrados por el DANE de población desde el año 1985 hasta el año 2017 se encuentran a continuación.

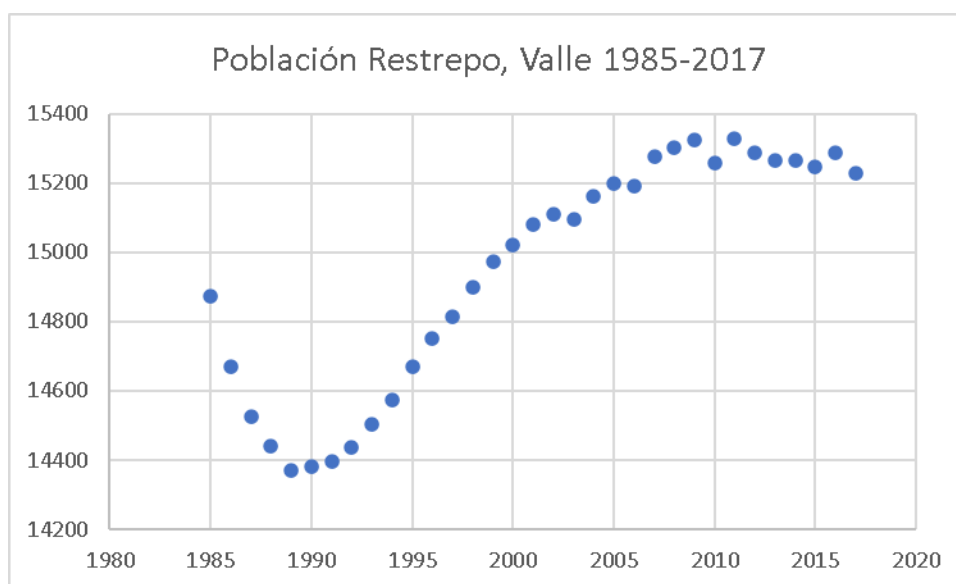


Figura 28. Población del municipio de restrepo año 1985 a 2017 – Censo Dane.

La proyección de la población mediante el método aritmético se encuentra a continuación.

Tabla 13. Proyección de la población - Método aritmético.

Año	Población	razón	Año Proyección					
	Pci	K	2021	2026	2031	2036	2041	2046
1985	14872	11.19	15274.75	15330.69	15386.63	15442.56	15498.5	15554.44
1990	14382	31.41	15355.63	15512.67	15669.7	15826.74	15983.78	16140.81
1995	14668	25.55	15332.18	15459.91	15587.64	15715.36	15843.09	15970.82
2000	15021	12.29	15279.18	15340.65	15402.12	15463.59	15525.06	15586.53
2005	15198	2.67	15240.67	15254.00	15267.33	15280.67	15294.00	15307.33
2010	15258	-4.00	15214.00	15194.00	15174.00	15154.00	15134.00	15114.00
2015	15248	-9.00	15194.00	15149.00	15104.00	15059.00	15014.00	14969.00
2016	15286	-56.00	15006.00	14726.00	14446.00	14166.00	13886.00	13606.00
2017	15230							
	PROM	8.57	15264.29	15307.16	15350.03	15392.89	15435.76	15478.62

Fuente: Autoría.

Para la proyección de la población de diseño se utiliza el valor de proyección para el año 2046 y se realiza una relación lineal. Los resultados se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 14. Cálculo población de diseño.

Año	Población	Habitantes
2021	15265	1620
2045	15478	1643

6.3. Demanda de agua

A partir de la población de diseño calculada anteriormente se puede obtener la demanda de agua para la población en el año 2046 (Ecuación 2), después de calcular este caudal medio diario se multiplica por los factores de mayoración 1.2 y 1.8 para obtener el caudal máximo diario y máximo horario respectivamente.

Siguiendo la Resolución 2320 de 2009 (Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2009), para este sistema de complejidad baja y clima templado la demanda neta es de 90 L/habitante/día, además, se consideran pérdidas máximas del 20% y un 10% de usos asociados a riego de huertas y abrevado de ganado, con esto recalculamos la demanda bruta (Ecuación 1).

$$Demanda\ bruta = Demanda\ neta * \frac{1}{1-\%p\acute{e}rdidas} = 90 * \frac{1}{1-0.3} = 129\ L\ d\acute{a}a/habitantes\ (1)$$

$$Q.\ medio\ diario = Demanda\ bruta * \frac{Habitantes}{86400} = 129 * \frac{1643}{86400} = 2.45\ L/s\ \quad (2)$$

Tabla 15. Caudal de demanda.

CAUDALES DE DEMANDA	
Demanda neta (L/per/día)	90
Perdidas + Otros usos	0.30
Consumo total (L/per/día)	129
Q medio diario(L/s)	2.45
Q máx. diario (L/s)	2.94
Q máx. horario(L/s)	4.41

Fuente: Autoría.

7. DISEÑO A DETALLE DEL DESARENADOR

7.1. Diseño Hidráulico

El tamaño y características del desarenador dependen principalmente del caudal que se va a manejar y del tamaño de partículas a remover. Los caudales que se manejaron para el desarenador se encontraron al pronosticar cuál sería el tamaño de la población en el futuro y al encontrar el consumo medio actual que tiene la región rural de Restrepo, según datos del departamento administrativo nacional de estadística seccional valle. De igual forma se utilizó el programa QGIS para encontrar el tamaño de las cuencas aferentes a las bocatomas Sinaí y las palmas. De igual forma se utilizó el mismo programa para encontrar cual era el caudal que dichas cuencas podrían generar, mostrándonos el caudal de excesos a usar en el desarenador.

El tamaño de las partículas que el desarenador va a remover es de 0,025 milímetros, este parámetro se decidió tomar de esta forma gracias a los distintos aspectos que se vieron involucrados en la problemática del acueducto de Restrepo, Acupaltres, tema legal y de espacio, puesto que dichas cualidades impiden tener mejores datos para dar una mejor solución al fenómeno en cuestión. Dicho lo anterior se tuvo que tomar como referencia la caracterización de suelos que se llevó a cabo por nuestro equipo para tener un esbozo de cómo está conformado el terreno y los tamaños de partículas del mismo, dando como resultado obtenido un suelo compuesto de arena limosa. De la misma forma el espacio que se puede utilizar para realizar el desarenador es limitado y no reduce nuestro rato de accionar, dependiendo de este para generar una solución acordé a lo necesario.

Para sintetizar los párrafos anteriores podemos decir que el tamaño del desarenador se vio influenciado por el espacio que se puede usar y la ausencia de datos precisos, dando como resultado un tamaño de desarenador mayor al requerido, puesto que las partículas que se supone estarán presentes en el agua tendrán un tamaño de 0,25 mm pero al carecer de una adecuada información se tomó un factor de seguridad con el cual el desarenador toma un tamaño final mayor al necesario, removiendo partículas de 0,025 mm.

El diseño hidráulico del desarenador se presenta en el Anexo No. 2

7.2. Diseño Estructural

Se realizó el cálculo estructural del proyecto y sus respectivas memorias de la edificación de un piso. Para su realización, se utilizó el software ETABS para modelar la estructura, teniendo como base los datos obtenidos en el diseño hidráulico (Anexo No. 2). Se realizó el diseño a flexión y cortante de las vigas, el diseño de la losa aligerada y de los muros que componen el desarenador.

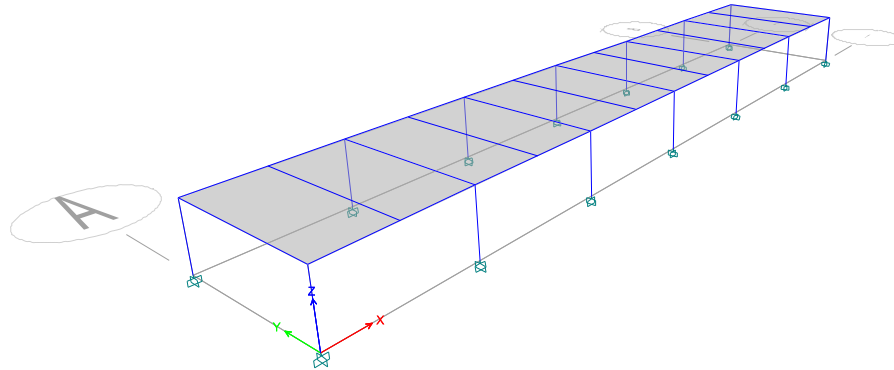


Figura 29. Modelado en ETABS del desarenador

Fuente: Autoría.

El diseño estructural del desarenador se presenta de una forma más detallada en el Anexo No.3, como la memoria de cálculo de todo el diseño y por consiguiente los planos respectivos se encuentran en el Anexo No.3.

8. MÉTODOS

8.1. Estudios de suelo para el diseño

8.1.1. Ensayos para caracterizar los suelos

- Granulometría
- Límite de consistencia
- Humedad Natural
- Clasificación de suelos
- Pesos específicos
- Grado de saturación
- Relación de vacíos
- Porosidad
- Límite de plasticidad

8.1.2. Ensayos Especiales

- Triaxiales no drenados
- Triaxiales cíclicos

- Corte directo
- Pesos unitarios
- Consolidación
- Ensayo de placa (para la capacidad portante)
- Penetración estándar

Nuestro diseño es considerado como una construcción de categoría baja según los niveles de construcción que no exceden de 3 niveles y conforme a su clasificación podemos obtener la profundidad mínima que corresponde a 6 metros y 3 sondeos. (NSR-10, Título B) (Hernan, 2013)

8.2. Geotecnia

8.2.1. Trabajo de campo

Se realizó un apique (**Figura 30 y 31**) justo al lado del tanque, de 1.5 metros de profundidad por 1 metro de ancho de forma manual, extrayendo muestras de suelo alteradas para realizar los respectivos ensayos con el fin de caracterizar el suelo.



Figura 30. Excavación del apique.

Fuente: Autoría.



Figura 31. Estratos de suelo.

Fuente: Autoría.

En la **Figura 31** podemos observar únicamente dos estratos de suelo.

8.2.2. Ensayos de laboratorio

Se describen los equipos para realizar los ensayos de laboratorio requeridos, mencionados anteriormente:

- **Cuchara Casagrande:** Es un instrumento de medición que se usa para determinar el límite líquido de una muestra de terreno.
- **Espátula:** De hoja flexible de unos 75 a 100 mm de longitud y 20 mm de ancho aproximadamente.
- **Placa mármol.**
- **Balanza:** con sensibilidad de 0.1 gr.
- **Horno.**
- **Equipo de tamiz agitador.**
- **Juego de tamices:** No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100, No. 200 y fondo.
- **Tara o recipiente.**
- **Vidrio esmerilado.**

8.2.2.1. Geo Gauge

Después de realizar el apique y obtener muestras alteradas del suelo se hizo uso del Geogauge (**Figura 30**), que es un dispositivo ideado para medir la rigidez del suelo compactado in situ entre otras funciones, sus características principales son:

- **Peso:** 10 kg
- **Diámetro:** 28 cm
- **Altura:** 25.4 cm
- **Anillo o aro:** es el anillo sobre el cual descansa el dispositivo sobre el suelo, este debe estar colocado sobre toda la superficie del suelo es decir debe de estar en total contacto con es

- Capacidad de memoria: El Geogauge tiene una capacidad de almacenar hasta 100 mediciones.
- Fuente de poder: la fuente de poder del Geogauge es suministrada por 6 baterías alcalinas tipo "D".
- Cable de datos: el dispositivo incluye un cable por medio del cual se pueden descargar los datos de los ensayos realizados.



Figura 30. *Uso del dispositivo Geogauge.*

Fuente: Autoría.

8.2.2.2. Clasificación de suelos

Se clasificaron los suelos por el método de El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), para ello ejecutaron los análisis granulométricos del suelo por tamizado en máquina agitadora para muestras de suelo (**Figura 31**), además se determinó los límites líquido y plástico siguiendo la norma INVE-125 e INVE-126 y la humedad natural siguiendo la norma INVE-122.



Figura 31. Máquina tamizadora para clasificación de los suelos.

Fuente: Autoría.

En todos los ensayos el porcentaje de pasa 200 es inferior al 50% (ver anexo #) lo que nos define que nuestro suelo es grueso, por esta razón se procede a determinar si son arenas o gravas analizando el porcentaje de pasa No. 4, el cual es mayor al 50% encontrándonos con una arena (**Figura 32**).

Tabla 16. Clasificación de suelos.

Clasificación de suelos método SUCS	
% pasa #200	5,96%
	Suelo Grueso
%pasa #4	94,75%
	Arenas
% de finos	5,96%
5%<Finos<12%	

Fuente: Autoría.



Figura 32. Muestras de suelo después de haber pasado por la tamizadora.

Fuente: Autoría.

Como nuestro porcentaje de finos se encuentra entre el 5% y el 12% se debe hallar la granulometría y los límites de Atterberg, para la granulometría se necesitan los diámetros de las partículas que pasan el 10, 30 y 60 por ciento de nuestro material, para determinar los coeficientes Cu y Cc, y saber si nuestra arena es bien gradada o pobremente gradada.

Tabla 17. Granulometría.

D10 [mm]	0,087
D30 [mm]	0,169
D60 [mm]	0,51
Cu	5,86
Cc	0,64

Fuente: Autoría.

Después de analizar esta condicional en la Tabla No. 3 nos damos cuenta de que no cumple y de esta manera tenemos una arena pobremente graduada (SP), para finalizar la clasificación realizamos los límites de Atterberg, para ello necesitamos el límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad.

Tabla 18. Límites de Atterberg.

2. Límites de Atterberg	
LL	54,58
LP	34,58
IP	20,0

Fuente: Autoría.

Para determinar el valor del límite líquido, se realizaron tres ensayos por el método de casa grande con el fin de graficar 3 puntos y hallar el valor del límite líquido a 25 golpes, también se realizó el ensayo de consistencia de suelo para el valor del límite plástico. El índice de plasticidad se encuentra restando ambos valores respectivamente.

Gráfica de plasticidad del USCS

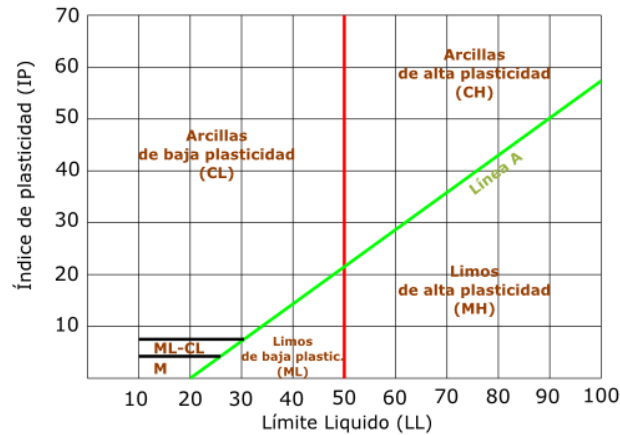


Figura 33. Grafica de plasticidad.

Finalmente, en la gráfica de la Figura No. 3 se trazan dos líneas rectas con los valores del límite líquido y el índice de plasticidad y observamos en donde se intersecan para conocer si el suelo es de alta o baja plasticidad. Después de seguir rigurosamente la norma podemos clasificar nuestro suelo como: arena pobremente graduada con limos de alta plasticidad.

9. HERRAMIENTAS DE DISEÑO.

9.1. ETABS

Software revolucionario en el análisis estructural y dimensionamiento de edificios. Es una herramienta con alta capacidad para el análisis necesario a la hora de modelación, creación y generación de detalles referentes al modelo en cuestión.

9.2. AUTOCAD

Software de diseño asistido por computadora (CAD) en el cual nos hemos apoyado para la construcción, siendo este un sostén clave para crear dibujos precisos en 2D y 3D con los cuales hacer llegar la información necesaria a la hora de la construcción de las obras previamente diseñadas.

10. PROCESO CONSTRUCTIVO

10.1. Materiales y Herramientas.

10.1.1. Concreto simple

Es una mezcla de cemento Pórtland, agregado fino, agregado grueso y agua. En la mezcla el agregado grueso deberá estar totalmente envuelto por la pasta de cemento; el agregado fino deberá rellenar los espacios entre el agregado grueso y a la vez estar similarmente recubierto por la misma pasta, la que deberá saturar los últimos vacíos remanentes. Esta mezcla se utiliza para distinto tipo de acciones tales como rellenos para estabilizar el suelo, alcanzar niveles necesarios en sitios donde no se requiere grandes resistencias a las fueras.

10.1.2. Acero de refuerzo

Al igual que la gran mayoría de materiales en la construcción se necesita tener certeza de que el material se comporte como se tiene previsto en los diseños, se debe tener en cuenta el grado de acero y todas las características intrínsecas del tipo de acero que se esté utilizando. Diciendo con esto que, el acero se utiliza para resistir distintos tipos de fuerza, bien sean de compresión, tensión, torsión y demás. De igual forma se utiliza dependiendo del diseño en conjunto con otros materiales como lo puede ser el concreto o se utiliza el acero solo.

10.1.3. Materiales para sellos de juntas

Los requisitos que deben cumplir los materiales utilizados para tanques deben tener:

- Hermetismo al paso del agua
- Compresibilidad
- Evitar que se expandan al contacto con el agua.

Se utiliza cinta SIKA PVC que serán dispuestas en las esquinas del desarenador.

10.1.4. Impermeabilizantes

Se necesita una correcta impermeabilización que no altere el análisis físico químico del agua, que sea escéptico y no aporte color, olor ni sabor al agua depositada. Este material debe garantizar que los usuarios puedan consumir el agua de una forma segura.

Además de que la impermeabilización garantiza una alta adherencia al concreto del tanque y estanqueidad de agua permanente.

10.1.5. Herramienta menor

Para todo el proceso de toma de datos, características propias del terreno y caracterización de la situación en la que se encuentra el acueducto de Acuapaltres se requiere de distintos tipos de herramientas y equipos menores, tales como:

- Palas

- Baldes
- Balanzas
- Termómetros
- Flexómetros
- Entre otros.

10.2. Localización y replanteo de la obra

Esta actividad se realiza para determinar la localización exacta de la obra del terreno, la nivelación a fin de dejar una superficie plana que facilite las labores constructivas y control permanente de la obra por ejecutar, esto con ayuda de estacas y personal calificado que considere las coordenadas y cotas precisas determinadas en los planos a detalle, siguiendo las referencias del proyecto. Dicha actividad se realiza con instrumentos de precisión que tendrá base en sistemas de altimetría y planimetría.

Se debe tener en cuenta las estructuras existentes de manera que ocupen la posición indicada y establecida previamente, además de demarcar la orientación de las entradas y las salidas.

10.3. Construcción Desarenador

10.3.1. Excavación manual

Dado que no se cuenta con espacio suficiente para realizar excavación con maquinaria, se dispondrá de la remoción de materiales de excavación por medios ordinarios tales como picos, barretas y palas, igualmente se transportará el material excavado con ayuda de carretillas.

Los movimientos de tierras se realizan de acuerdo con las rasantes y elevaciones indicadas y conforme a los estudios previos del suelo.

Si es apropiado o conveniente, se utiliza el material sobrante excavado para ser dispuesto como material de relleno o selecto. En caso de no necesitar dicho material, este será transportado a un lugar donde se cuente con un permiso respectivo.

Es importante monitorear los niveles, para que no haya sobre excavación y posteriores problemas de cimentación.

10.3.2. Drenes

Los drenes son tuberías que permitirán la recolección del agua filtrada para transportarla hasta llegar al punto de descarga (Figura 32).

Posteriormente a la nivelación del terreno, se demarca la ubicación de las tuberías donde se debe tener en cuenta la señalización de la cimentación de los tanques.

Se excava manualmente a una profundidad aproximadamente de 0.30m, con una pequeña pendiente para facilitar el drenaje y descarga del agua en sentido del flujo. Seguidamente se retira el material sobrante.

En el piso de la zanja excavada se coloca una cama de arena para instalar la tubería perforada sobre esta, finalmente se cubre la zanja con grava hasta el nivel del piso. Lo

anterior se puede apreciar en la siguiente figura:



Figura 32. Dren con grava, tubería perforada y arena.

Fuente: Sistema constructivo de filtros lentos y gruesos, 2014.

10.4. Solado

Se debe fundir una base de solado (conjunto de piso-contrapiso) en el fondo de la excavación predispuesta para las zapatas, el cual es un concreto simple de baja resistencia que tiene como función evitar la contaminación del concreto de cimentación con el terreno natural.

El solado se funde sobre el suelo, que funciona para apoyar el acero de refuerzo para su posterior fundición de las zapatas que van a soportar la losa estructural del desarenador.

Previo a la fundición del solado se pone una cama de recebo que consiste en la mezcla de materiales granulares de diferentes tamaños, para tener un mejor soporte del suelo. Se procede con la colocación de malla electrosoldada que tiene como función actuar como marco para sostener el mortero en estado fresco, así como absorber los esfuerzos de tensión en el estado endurecido. Esta malla se pone cubriendo toda el área de los tanques sin dejar espacios vacíos.

10.5. Columnas

Para armar la columna, se procederá a amarrar los estribos a las barras longitudinales con alambre. Este amarre se hace con herramienta simple como un “atortolador” con el cual se dobla el alambre.

Una vez armada la columna, se procederá a colocarla en el interior de la parrilla o malla electrosoldada, apoyándola sobre unos dados de concreto o separadores. Se fija la estructura principal la cual se sigue de acuerdo al diseño. Por último, se debe verificar que todas las columnas estén alineadas.

10.6. Zapatas y vaciado del concreto

Una vez terminado de enganchar toda la estructura de acero de zapatas y columnas, se procede a realizar la fundición de las zapatas, hasta el nivel descrito en el diseño. Se debe hacer el vibrado del concreto con ayuda de palas y herramienta menor con el

objetivo de que sea más homogéneo y no queden vacíos al interior del concreto.

Para la fundición de las columnas se necesita primeramente instaladas las formaletas, las cuales van sujetas por medio de abrazaderas, que a su vez evitan el pandeo de la misma debido a la presión que ejerce el concreto cuando se coloca.

10.7. Encofrados y desencofrados

Una vez haya fraguado las zapatas se deben instalar las formaletas para la realización y fundición de las columnas y posterior desarenador. Las formaletas utilizadas para el tanque de almacenamiento y desarenador deben ser lo suficientemente sólidos, adecuadamente arriostrados y amarrados para mantener su forma (NSR10 - C.6). Los encofrados serán debidamente alineados y nivelados de tal manera que formen elementos en la ubicación y de las dimensiones indicadas en los planos.

Los materiales que se vayan a disponer como formaletas deberán mantenerse aislados de todos aquellos agentes externos, capaces de causar su deterioro o deformación.

Importante que la junta entre las paredes y el fondo del tanque del desarenador quede impermeabilizada con cinta PVC para evitar cualquier fuga o infiltración.

En cuanto la estructura de formaleta esté lista, se debe revisar que esté perpendicular a la losa y además ser aprobada por el interventor encargado. Finalmente, pasado el tiempo de curado, se retira la formaleta.

10.8. Losa de los tanques

Se procede a realizar la fundición de la losa de espesor de 0.5 m para que cuando se hayan cubierto todas las secciones del área, se aplane la superficie de la losa con ayuda de una tabla gruesa y lisa que le permita dar firmeza. Se hacen uso de palas cuadradas para mover o agitar la mezcla, y a su vez asegurarse que el concreto cubra todos los espacios y no se formen burbujas o vacíos.

Simultáneamente se realizó el armado de acero para la viga de amarre de piso del desarenador, para proceder a su fundición, la cual se rellenó con material común debidamente compactado y esta se realizó en concreto de 28 MPa.

Posterior a este proceso se debe dejar secar la losa para la colocación de una capa de lechada o mortero, que tiene como función un sellamiento de las fisuras y grietas existentes y así evitar que se filtre el agua en futuras ocasiones.

10.9. Acero de refuerzo de pared

Para iniciar con la ejecución de la fundición, se debe poner acero de refuerzo en las paredes perimetrales y centrales del tanque y desarenador que determinen resistencia y ductilidad, verificando que se cumplan todas las especificaciones del diseño. Igualmente, que el concreto utilizado para ello, debe ser lo suficientemente impermeable para evitar corrosión.

Para el caso de las pantallas de entrada y de salida del desarenador se prefabrican inicialmente, se impermeabilizan y se instalan posterior a la fundición de las paredes.

10.10. Repello exterior de los tanques

Para el caso de incrementar la durabilidad del concreto y darle mejores características de resistencia e impermeabilidad se realiza un repello con mortero que se preparará a mano.

Dicha mezcla se realizará a mano con ayuda de herramienta menor como palas, donde se requiere menear hasta obtener una masa de consistencia manejable. Posteriormente se esparcirá por todo el perímetro del desarenador y tanque de modo que el mortero penetre en todas las paredes. Una vez cargado el mortero en todo el perímetro exterior, se paleta y esponjea dejando un acabado con una contextura lisa.

Para darle un mejor acabado a la estructura se puede disponer de pintura epóxica que provee alta resistencia química a sustancias corrosivas como el agua. Esto además para garantizar su vida útil y reducir futuros costos de mantenimiento y reparación.

10.11. Tuberías y accesorios

Una vez terminado el curado del mortero, se colocan tubería y accesorios de acuerdo con el diseño previo.

11. ESPECIFICACIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

- Las excavaciones no deben efectuarse con demasiada anticipación a la construcción o instalación de las estructuras, para evitar derrumbes y accidentes
- Las formaletas deben estar recubiertas internamente con algún producto que facilite el desmolde.
- En los rellenos necesario se debe tener buena compactación, para garantizar el correcto funcionamiento de cada elemento.
- Se debe realizar pruebas de estanqueidad a las estructuras para descartar posibles fugas y garantizar que quede en un óptimo servicio para su funcionamiento.
- Se debe eliminar material excedente posterior a fundición.
- No debe usarse piedras, desechos u otro material frágil en reemplazo de los dados o separadores para la fijación de la estructura de la columna con la zapata.
- No se debe dejar transcurrir mucho tiempo entre dos vaciados consecutivos porque se generan juntas frías, lo cual afecta el comportamiento estructural del concreto.
- Se debe proteger la cuenca hidrográfica que abastece al acueducto para mejorar la calidad de agua y la planta especificada tenga el funcionamiento y periodo diseñado.

12. PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA DE OBRA

Después de realizado la metodología de diseño y el planteamiento del método constructivo se realiza una programación de obra, junto con el presupuesto y el flujo de caja semanal, para la realización de la obra, calculando las cantidades y precios unitarios necesarios para la construcción del proyecto, todo lo anterior se presenta como el Anexo No.1

13. RECOMENDACIONES GENERALES Y CONSIDERACIONES FINALES

-Evitar el paso del ganado por las zonas de la cuenca que abastecen las bocatomas evitando que llegue al acueducto aguas con alto contenido de coliformes y Escherichia Coli.

-No generar deforestación de ningún tipo, puesto que afecta directamente la calidad y cantidad del agua en la cuenca.

-Recuperar las zonas que están deforestadas y arborizar en lo posible las zonas que alimentan los ríos del municipio, esto ayudara a mejorar diversos factores, entre ellos los dos principales que afectan a la calidad del agua en el momento, turbiedad y presencia de heces.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUJA, C., PINOS, C., SAMANIEGO, J., (2013) USO DE DESARENADORES EN ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, Cuenca, Ecuador.

BARBOSA, E., GARCIA, D., GARCIA, D., DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE CUMARAL (2013). UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA. VILLAVICENCIO – COLOMBIA.

CVC & CIAT, (2014) PORTAFOLIO DE ESTRATEGIAS PARA LA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN ALCAMBIO CLIMATICO, RESTREPO, COLOMBIA.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, (2020) Decreto 1594/84. Capitulo IV. Art 37-39. Bogotá D.C.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. (2010). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) - Título B.

OPS/CEPIS/06.174, UNATSABAR. (2005) GUÍA PARA DISEÑO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS. Lima, Perú.

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE, NSR-10. CONCRETO ESTRUCTURAL CIMBRAS Y ENCOFRADOS, EMBEBIDOS Y JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN - TÍTULO C.

REIFF, F. Y WIN, V. (1995). GUÍAS PARA LA SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE DESINFECCIÓN DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN PUEBLOS PEQUEÑOS Y COMUNIDADES RURALES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. WASHINGTON, D.C. US

QUIZHPE, CESAR., (2014) SISTEMA CONSTRUCTIVO DE FILTROS LENTOS Y GRUESOS TIPO FIME (FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS), CON ESTRUCTURA DE FERROCEMENTO. Cuenca, Ecuador.

15. ANEXOS

Anexo No.1 Presupuesto, programación de obra y flujo de caja.

Anexo No.2 Memoria de Cálculo del Diseño Hidráulico.

Anexo No.3 Memoria de Cálculo del Diseño Estructural.

Anexo No.4 Planos de diseño a detalle.