

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. MC-MA-011-2025: REALIZAR LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA CAPTACIÓN Y SISTEMA DE BOMBEO, RED DE IMPULSIÓN Y RED DE CONDUCCIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA VEREDA DE QUIRVAQUIRA DEL MUNICIPIO DE ARCABUCO, CONFORME AL INDICADOR DE PRODUCTO "ACUEDUCTOS OPTIMIZADOS" DEL PLAN DE DESARROLLO "POR LA DIGNIDAD DE ARCABUCO 2024-2027".

MUNICIPIO DE ARCABUCO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ

DOCUMENTO TÉCNICO: COMPONENTE HIDRÁULICO

REVISIÓN REV 1.0	SEPTIEMBRE 2025
Realizó	Revisó
I.S. CAMILO ANDRÉS LÓPEZ AMAYA Consultor	I.C. JOSÉ YESID RODRÍGUEZ NEIRA Interventor

1. TABLA DE CONTENIDO

1. TABLA DE CONTENIDO 2

2. INTRODUCCIÓN 7

3. OBJETIVOS 9

3.1 OBJETIVO GENERAL 9
3.2 OBJETIVO ESPECIFICO 9

4. MARCO LEGAL APLICADO 10

4.1 LEYES Y DECRETOS 10
4.2 DECRETOS 11
4.3 RESOLUCIONES 12
4.4 OTROS ACTOS ADMINISTRATIVOS 12

5. ESTUDIO DE PROYECCIÓN DE POBLACIÓN ACUEDUCTO AGUABLANCA 14

5.1 POBLACIÓN ACTUAL Y PROYECTADA ACUEDUCTO AGUABLANCA 14

6. CÁLCULO DE LA DEMANDA DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO AGUABLANCA. 20

6.1 DOTACIÓN NETA. 20
6.2 DOTACIÓN BRUTA. 20
6.3 COEFICIENTES DE CONSUMO K1 Y K2. 21
6.4 CAUDAL MEDIO DIARIO (Q_{MD}) 21
6.5 CAUDAL MAXIMO DIARIO (Q_{MD}) 22
6.6 CAUDAL MAXIMO HORARIO (Q_{MH}) 22

7. CÁLCULO HIDRÁULICO Y VERIFICACIÓN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO 24

7.1 CÁLCULO DE VOLUMEN POR CRITERIO DE ALMACENAMIENTO. 25
7.2 CÁLCULO DE VOLUMEN POR CRITERIO DE REGULACIÓN. 25
7.3 VOLUMEN PARA PROVISIÓN DE CONTROL DE INCENDIOS ESTRUCTURALES. 27
7.4 CÁLCULO DE VOLUMEN TOTAL DE ALMACENAMIENTO. 27

8. SISTEMA DE BOMBEO Y RED DE IMPULSIÓN 29

8.1 EVALUACIÓN, VERIFICACIÓN Y DISEÑO SISTEMA DE BOMBEO 29
8.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA SELECCIÓN DE LA BOMBA 39
8.3 MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LÍNEA DE IMPULSIÓN 42
8.4 ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE LA LÍNEA DE LA IMPULSIÓN. 44
8.5 CÁLCULO DE GOLPE DE ARIETE. 49
8.6 ANÁLISIS DEL DIÁMETRO MÁS ECONÓMICO. 51

9. RED DE CONDUCCIÓN ENTRE TANQUE COPETÓN Y TANQUE PLATEROS. 53

9.1 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS RED DE CONDUCCIÓN. 62
9.2 ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE RED DE CONDUCCIÓN. 69
9.3 ACCESORIOS 79
9.4 AFECTACIÓN PREDIAL EN ALTERNATIVA SELECCIONADA. 81

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 86

10.1 SISTEMA DE BOMBEO Y RED DE IMPULSIÓN 86
10.2 RED DE CONDUCCIÓN ENTRE TANQUE COPETÓN Y TANQUE PLATEROS 86
10.3 ACCESORIOS EN RED DE CONDUCCIÓN 87

11. BIBLIOGRAFÍA 90

LISTA DE TABLAS

Tabla 5-1. Población DANE 14
Tabla 5-2. Población Objetivo de Análisis 18
Tabla 5-3. Población Horizonte 18
Tabla 6-1. Dotación 20
Tabla 6-2. Cálculo de la demanda acueducto Aguablanca 23
Tabla 7-1 Dimensiones almacenamiento 28
Tabla 8-1 Matriz de variables de selección de equipo de bombeo. 39
Tabla 8-2 Topología de línea de impulsión. 42
Tabla 8-3 Resumen de tuberías línea de impulsión. 44
Tabla 8-4 Presiones en los nodos de línea de impulsión. 45
Tabla 8-5 Velocidad en los tramos de línea de impulsión. 47
Tabla 9-1 Topología de red de conducción. 55
Tabla 9-2 Resumen de tuberías red de conducción. 62
Tabla 9-3 Ventajas y desventajas alternativa 1 material de tubería para la conducción en PVC. 63
Tabla 9-4 Ventajas y desventajas alternativa 1 material de tubería para la conducción en Acero al carbón. 64
Tabla 9-5 Ventajas y desventajas alternativa 1 material de tubería para la conducción en Hierro Dúctil. 65
Tabla 9-6 Matriz de evaluación para la selección de material de la línea de conducción. 66
Tabla 9-7 Presiones en la red de conducción 70
Tabla 9-8 Presiones en la red de conducción con manómetro vs simulación hidráulica. 72
Tabla 9-9 Tramos a optimizar en red de conducción. 74
Tabla 9-10 Velocidades en los tramos de la red de conducción. 77
Tabla 9-11 Accesorios propuestos en red de conducción. 79
Tabla 9-12 Listado de predios afectados por el cambio de tubería en red de conducción. 81

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 5-1. Certificación número y tipo de suscriptores acueducto Aguablanca. 15
Imagen 5-2 Boletín censo general para municipio de Arcabuco 17
Imagen 7-1 Tanque de almacenamiento existente (Plateros). 24
Imagen 8-1 Esquema tipo sistema de bombeo. 29
Imagen 8-2 Sistema de bombeo existente. 30
Imagen 8-3 Comportamiento de las presiones de línea de impulsión. 46
Imagen 8-4 Comportamiento de las velocidades de línea de impulsión 47
Imagen 9-1 Localización red de conducción entre tanque Copetón y tanque Plateros 54
Imagen 9-2 Comportamiento de las presiones en red de conducción. 71
Imagen 9-3 Materiales propuestos para la alternativa de optimización de la red de conducción. 76
Imagen 9-4 Comportamiento de las velocidades en red de conducción. 78
Imagen 9-5 Identificación de predios afectados por cambio de tubería. 85

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 7-1. Capacidad de Regulación Vs Capacidad de Almacenamiento 26

LISTA DE ANEXOS

Anexo	Título
Anexo 1	Proyección poblacional y de caudales.
Anexo 2	Cálculo y comprobación de estructura de almacenamiento.
Anexo 3	Modelaciones hidráulicas (Red de impulsión y red de conducción.
Anexo 4	Comprobación y cálculo de sistema de bombeo.
Anexo 5	Certificación de suscriptores del acueducto Aguablanca.
Anexo 6	Plano de afectación predial.

2. INTRODUCCIÓN

En el marco del contrato de consultoría, CONTRATO DE CONSULTORIA No. MC-MA-011-2025 "REALIZAR LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA CAPTACIÓN Y SISTEMA DE BOMBEO, RED DE IMPULSIÓN Y RED DE CONDUCCIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA VEREDA DE QUIRVAQUIRA DEL MUNICIPIO DE ARCABUCO, CONFORME AL INDICADOR DE PRODUCTO "ACUEDUCTOS OPTIMIZADOS" DEL PLAN DE DESARROLLO "POR LA DIGNIDAD DE ARCABUCO 2024-2027". Se presenta a lo largo de este documento el estado actual del sistema de bombeo, red de impulsión, red de conducción y verificación del sistema de almacenamiento existente para el acueducto Aguablanca del municipio de Arcabuco.

En el Capítulo No. 3 se incluyen los objetivos del Informe.

En el Capítulo No. 4 se establece el marco legal de aplicabilidad al componente hidráulico.

En el Capítulo No. 5 se define el Estudio de Población de aplicabilidad al presente estudio.

En el Capítulo No. 6 se presenta el cálculo de la demanda requerida por los suscriptores del acueducto.

En el Capítulo No. 7 Se presenta el cálculo y verificación del del sistema de Almacenamiento.

En el Capítulo No. 8 se realiza el análisis de la situación actual del sistema de bombeo y la red de impulsión junto con la selección del equipo de bombeo.

En el Capítulo No. 9 se presentan las características de la red de conducción entre el tanque Copetón y el tanque Plateros, la simulación hidráulica del escenario existente y el planteamiento de las alternativas para las situaciones encontradas.

En el Capítulo No. 10 se realiza la modelación hidráulica de la alternativa seleccionada y la afectación predial que se da en el proyecto luego de la optimización propuesta.

Finalmente, en el Capítulo No. 11 se presentan las conclusiones y recomendaciones por parte del equipo consultor.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

El presente informe presenta el análisis de la situación existente del acueducto Aguablanca de la vereda Quirvaquira con el fin de identificar problemáticas en su operación y presentar alternativas que mitiguen y optimicen dichas problemáticas, a fin de garantizar que el sistema de acueducto opere en optimas y mejores condiciones y finalizando con la elaboración de estudios y diseños a nivel de detalle de ingeniería de la alternativa seleccionada.

3.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Realizar la proyección de población y demanda de caudales para los usuarios del acueducto.
- Realizar análisis y verificación del sistema de bombeo y red de impulsión actual.
- Realizar análisis y verificación para la red de conducción del acueducto de Aguablanca entre los tanques Copetón y Plateros.
- Realizar el cálculo y verificación de volumen hidráulico del sistema de almacenamiento del acueducto rural Aguablanca.
- Plantear alternativas de optimización de acuerdo con las situaciones encontradas.

4. MARCO LEGAL APLICADO

La normatividad ha presentado durante los últimos años cambios sustanciales en relación a la preservación de los recursos naturales, sin embargo, en la actualidad se siguen presentando dudas e inconsistencias frente a los decretos y resoluciones que ha dificultado la aplicabilidad de las normas en materia de control, prevención y conservación de los recursos naturales.

4.1 LEYES Y DECRETOS

Constitución nacional de Colombia ART 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo y demás artículos asociados a los deberes y derechos de preservación del entorno.

Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Decreto Ley 2811 de 1974 – Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. En su capítulo II define la regulación en cuanto a la prevención y control de contaminación del recurso hídrico, desarrolla ampliamente lo referente a los vertimientos de agua residual, estudios de impacto ambiental y procesos sancionatorios. En el Título VIII determina la administración de las aguas y cauces enumera las responsabilidades del gobierno en la administración de las aguas.

Ley 689 de 2001, por la cual se modifica parcialmente la Ley 142 de 1994.

Ley 1259 de 2008. Por medio de la cual se instaura en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones.

Ley 1333 DE 2009 Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones.

4.2 DECRETOS

Decreto 1594 de 1984. Derogado por el art. 79, Decreto Nacional 3930 de 2010, salvo los arts. 20 y 21. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

Decreto 3100 de 2003, modificado por el 3440 de 2004, en lo referente a las tasas retributivas y compensatorias por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales.

Decreto 1220 de 2005: Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.

Decreto 3930 de 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos (En la actualidad no se encuentran definidos los límites máximos permisibles de descarga, se tomó referencia los artículos vigentes del decreto 1594 de 1984)

Decreto 4728 de 2010. Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010.

Decreto 1807 de 2014 Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto-ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones.

Decreto 1076 de 2015 Por medio del cual se expide el Decreto Único reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible

4.3 RESOLUCIONES

Resolución 0822 de 1998 Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS.

Resolución 1096 de 2000. Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS.

Resolución CRA 151 de 2001. Regulación integral de los servicios públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo.

Resolución 688 de 2003, por la cual se modifica los artículos 86, 123, 126 y 210 de la Resolución No. 1096 de 2000 que adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.

Resolución 1433 de 2004 por el cual se reglamentó el Decreto 3100 de 2003.

Resolución 1459 de 2005. Por la cual se modifica la Resolución número 1096 de 2000 que adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS.

Resolución 978 de 2007, por la cual se fijan los requisitos para tener derecho a la exclusión del IVA.

Resolución 1527 de 03 de septiembre de 2012, por lo cual se señalan las actividades de bajo impacto ambiental y que además generan beneficio social, de manera que se puedan desarrollar en las áreas de reserva forestal, sin necesidad de efectuar la sustracción del área y se adoptan otras determinaciones.

4.4 OTROS ACTOS ADMINISTRATIVOS

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-98, resolución 0822 de 6 de agosto de 1998 del Ministerio de Desarrollo Económico,

señala los requerimientos técnicos mínimos que deberían cumplir las obras relacionadas con el abastecimiento de agua potable y el saneamiento básico ambiental en la República de Colombia.

Reglamento de agua potable y saneamiento RAS, título E, tratamiento de aguas residuales: El Ministerio de Desarrollo Económico en la resolución 1096 de 2000 adopta el RAS como el documento técnico que fija los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales entre otras obras de agua potable y saneamiento básico, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.

Resolución 0330 de 2017 Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.

Resolución 0799 de 2021 "Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017".

5. ESTUDIO DE PROYECCIÓN DE POBLACIÓN ACUEDUCTO AGUABLANCA

5.1 POBLACIÓN ACTUAL Y PROYECTADA ACUEDUCTO AGUABLANCA

De acuerdo con el censo DANE 2018, el municipio de Arcabuco para el año 2018 cuenta con una población total de 5465 habitantes, de los cuales 2378 se encuentran en el casco urbano y 3087 en centros poblados o rural disperso. En relación al censo anterior (2005), se observa una leve disminución en la población rural. En la siguiente tabla se observa lo descrito:

Tabla 5-1. Población DANE

Área geográfica	CENSO DANE 2018	CENSO DANE 2005
Cabecera municipal	2.378	1.777
Centros poblados y rural disperso	3.087	3.313
Total	5.465	5.090

Fuente. Censo DANE 2018

Imagen 5-1. Certificación número y tipo de suscriptores acueducto Aguablanca.

ASOCIACION DE SUSCRIPTORES
ACUEDUCTO AGUA BLANCA
NT. 820000051 - 0

Arcabuco 01 agosto 2025

Ingeniero
CAMILO ANDRES LÓPEZ AMAYA
Consultor contrato de consultoría MC-MA-001-2025

Cordial saludo

Por medio de la presente nos permitimos dar respuesta a su solicitud realizada, referente a la capacidad y abastecimiento del Acueducto Agua Blanca de la Vereda Quirvaquirá No. 1 del Municipio de Arcabuco- Boyacá, de acuerdo con los siguientes parámetros:

Número de usuarios:

Tipo de usuario	Cantidad
Doméstico	499

Quedo atento ante cualquier inquietud o solicitud.

Cordialmente:

ALCIDES AGUILAR JIMENEZ
C.C 6773654 de Tunja
Celular: 3203369984
R/L Acueducto Agua Blanca

Fuente. (Consultoría.)

Teniendo en cuenta que no hay un histórico de censos en la población propia del acueducto, como si lo hay en la población del casco urbano del municipio, se determina realizar la proyección de población de acuerdo con lo recomendado y establecido en la resolución 0844 de 2018.

Se estimó un valor de 3.0 personas por cada vivienda tomado del boletín censo general de DANE para el municipio de Arcabuco y, adicionalmente con la tasa de crecimiento recomendada por el artículo 5 de la resolución 0844 de 2018, el cual indica que los proyectos en zona rural deberán diseñarse con una tasa de crecimiento anual de 0.5 % en un horizonte de 25 años.

Imagen 5-2 Boletín censo general para municipio de Arcabuco

DANE
INFORMACIÓN PARA TODOS

El futuro es de todos — Gobierno de Colombia

Departamento / Municipio	Nombre
	15 - Boyacá
	15051 - Arcabuco

Entidad territorial	Total personas censadas		Total personas censadas en hogares particulares		Total personas censadas en lugares especiales de alojamiento (LEA)	
	CNPV 2018	CG 2005	CNPV 2018	CG 2005	CNPV 2018	CG 2005
Colombia	44.164.417	41.468.384	43.835.324	41.174.853	329.093	293.531
Boyacá	1.135.698	1.210.982	1.124.490	1.192.983	11.208	17.999
Arcabuco	5.465	5.090	5.447	5.079	18	11

Entidad territorial	Total hogares particulares		Total viviendas ocupadas con personas presentes		Total lugares especiales de alojamiento (LEA)		Personas por hogar (promedio)	
	CNPV 2018	CG 2005	CNPV 2018	CG 2005	CNPV 2018	CG 2005	CNPV 2018	CG 2005
Colombia	14.243.223	10.570.899	13.480.729	9.742.928	9.606	7.075	3,1	3,9
Boyacá	381.868	322.850	369.111	305.733	268	398	2,9	3,7
Arcabuco	1.820	1.354	1.811	1.212	1	2	3,0	3,8

Entidad territorial	Clase Geográfica	Total personas censadas		Total personas censadas en hogares particulares		Total hogares particulares		Personas por hogar (promedio)	
		CNPV 2018	CG 2005	CNPV 2018	CG 2005	CNPV 2018	CG 2005	CNPV 2018	CG 2005
Colombia	Cabecera	33.905.550	31.510.379	33.905.550	31.282.705	11.128.226	8.210.346	3,0	3,8
	Centro poblado y Rural disperso	9.929.774	9.958.005	9.929.774	9.892.148	3.114.997	2.360.553	3,2	4,2
Boyacá	Cabecera	683.329	632.836	678.122	623.283	231.702	173.595	2,9	3,6
	Centro poblado y Rural disperso	452.369	578.146	446.368	569.700	150.166	149.255	3,0	3,8
Arcabuco	Cabecera	2.378	1.777	2.378	1.766	806	496	3,0	3,6
	Centro poblado y Rural disperso	3.087	3.313	3.069	3.313	1.014	858	3,0	3,9

Entidad territorial	Clase geográfica	Condición de ocupación de la vivienda - CNPV 2018			
		Ocupada con personas presentes	Ocupada con todas las personas ausentes	Vivienda temporal	Desocupada
Colombia	Total	13.480.729	439.017	788.763	1.362.384
	Cabecera	10.567.475	342.611	353.794	936.633
	Centro poblado y Rural disperso	2.913.254	96.406	434.969	425.751
Boyacá	Total	369.111	7.882	62.027	80.737
	Cabecera	223.767	3.617	18.044	24.768
	Centro poblado y Rural disperso	145.344	4.265	43.983	55.969
Arcabuco	Total	1.811	2	322	398
	Cabecera	798	0	65	61
	Centro poblado y Rural disperso	1.013	2	257	337

Fuente. Censo DANE, 2018.

De acuerdo con lo anterior, se calcula la población que se proyecta desde el año 2026 (año cero) hasta el año 2051 (horizonte) para el acueducto Aguablanca.

Tabla 5-2. Población Objetivo de Análisis

Año	Número de suscriptores	Promedio de personas por vivienda de acuerdo con ficha CENSO DANE 2018	Población Total
2025	498	3.0	1494

Fuente. (Consultoría.)

El número total de suscriptores corresponde a la cantidad de viviendas identificadas y que cuentan con servicio de acueducto.

En la siguiente tabla se observa la proyección poblacional para el acueducto Aguablanca de acuerdo con el promedio de personas en el sector rural en el municipio y la tasa de crecimiento recomendada por el artículo 5 de la resolución 0844 de 2018.

Tabla 5-3. Población Horizonte

Año	Tasa de crecimiento	*Población*
2026	0.5%	1494
2027	0.5%	1501
2028	0.5%	1509
2029	0.5%	1517
2030	0.5%	1524
2031	0.5%	1532
2032	0.5%	1539
2033	0.5%	1547
2034	0.5%	1555
2035	0.5%	1563

Año	Tasa de crecimiento	*Población*
2036	0.5%	1570
2037	0.5%	1578
2038	0.5%	1586
2039	0.5%	1594
2040	0.5%	1602
2041	0.5%	1610
2042	0.5%	1618
2043	0.5%	1626
2044	0.5%	1634
2045	0.5%	1643
2046	0.5%	1651
2047	0.5%	1659
2048	0.5%	1667
2049	0.5%	1676
2050	0.5%	1684
2051	0.5%	1692

Fuente. (Consultoría.)

Para el año (2051) se tiene una proyección de población de 1692 habitantes en el acueducto Aguablanca, obtenida a través de la tasa de crecimiento del 0,5 % recomendada por el artículo 5 de la resolución 0844 de 2018.

6. CÁLCULO DE LA DEMANDA DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO AGUABLANCA.

6.1 DOTACIÓN NETA.

La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto y puede obtenerse del consumo medio diario por habitante registrado durante un año. A continuación, se observa la siguiente tabla, lo correspondiente a dotación neta máxima por habitante según altura sobre el nivel del mar de la zona atendida.

Tabla 6-1. Dotación

Altura promedio sobre el nivel del mar de la	Dotación neta máxima (l/Hab*día)
>2000 msnm	120
1000 – 2000 msnm	130
<1000 msnm	140

Fuente: Resolución 0330 de 2017, capitulo 1, artículo 43, del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio.

Por lo tanto, para el acueducto Aguablanca, el cual tiene una altura mayor de 2000 msnm se emplea una dotación neta de 120 L/Hab-día.

6.2 DOTACIÓN BRUTA.

Al no disponer de la información de pérdidas en el sistema y agua no contabilizada, se asume el valor recomendado en la resolución 0330 de 2.017 Artículo 44, con lo cual se tienen unas pérdidas técnicas del 25% para el final del período de diseño.

Cálculo de dotación bruta:

$$Dotación\ bruta = \frac{Dotación\ neta}{1 - \%perdidas}$$

$$Dotación\ bruta\ = \frac{120}{1-25\%} = 160\ \frac{L}{hab-día}$$

6.3 COEFICIENTES DE CONSUMO K1 Y K2.

En el capítulo 2, artículo 47, parágrafo 2°, de la resolución 0330 de 2.017 se establecen los factores de mayoración K1 y K2, los cuales deben calcularse para cada caso con base en los registros históricos de macro medición. En condiciones excepcionales en las que dicha información no esté disponible, debe justificarse la selección de los valores empleados.

Para poblaciones menores o iguales a 12.500 habitantes, al periodo de diseño, en ningún caso el factor K1 será superior a 1,3 ni el factor k2 superior a 1,6. Para poblaciones mayores de 12.500 habitantes al periodo de diseño, en ningún caso el factor K1 será superior a 1,2 ni el factor k2 superior a 1,5.

Para el presente caso los factores de mayoración serán de K1= 1,3 y K2= 1,6.

6.4 CAUDAL MEDIO DIARIO (QMD)

El caudal medio diario, Qmd es el caudal medio calculado para la población aferente, según la dotación bruta obtenida anteriormente, esta puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Qmd = \frac{Dotación\ bruta * Población}{86400}$$

$$Qmd\ 2051 = \frac{160 * 1692}{86400} = 3.13\ L/s$$

6.5 CAUDAL MAXIMO DIARIO (QMD)

El caudal máximo diario, QMD, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un periodo de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, K_1 así:

$$QMD = Qmd * K_1$$

$$QMD\ 2051 = 3.13 * 1{,}3 = 4.07\ L/s$$

6.6 CAUDAL MAXIMO HORARIO (QMH)

El caudal máximo horario, QMH, corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, K_2 según la siguiente ecuación.

$$QMH = QMD * K_2$$

$$QMH\ 2051 = 4.07 * 1.6 = 6.52\ l/s$$

A continuación, se relacionan los caudales y dotaciones proyectadas para todo el sistema de acueducto tomando como base la resolución 0330 de 2017 y la resolución 799 de 2021.

Tabla 6-2. Cálculo de la demanda acueducto Aguablanca.

Año de proyección	Año	POBLACION TOTAL	% Pérdidas	Dotación Bruta	K1	K2	Qmd (l/s)	QMD (l/s)	QMH (l/s)
0	2026	1494	25	160,0	1,3	1,6	2,77	3,60	5,75
1	2027	1501	25	160,0	1,3	1,6	2,78	3,61	5,78
2	2028	1509	25	160,0	1,3	1,6	2,79	3,63	5,81
3	2029	1517	25	160,0	1,3	1,6	2,81	3,65	5,84
4	2030	1524	25	160,0	1,3	1,6	2,82	3,67	5,87
5	2031	1532	25	160,0	1,3	1,6	2,84	3,69	5,90
6	2032	1539	25	160,0	1,3	1,6	2,85	3,71	5,93
7	2033	1547	25	160,0	1,3	1,6	2,86	3,72	5,96
8	2034	1555	25	160,0	1,3	1,6	2,88	3,74	5,99
9	2035	1563	25	160,0	1,3	1,6	2,89	3,76	6,02
10	2036	1570	25	160,0	1,3	1,6	2,91	3,78	6,05
11	2037	1578	25	160,0	1,3	1,6	2,92	3,80	6,08
12	2038	1586	25	160,0	1,3	1,6	2,94	3,82	6,11
13	2039	1594	25	160,0	1,3	1,6	2,95	3,84	6,14
14	2040	1602	25	160,0	1,3	1,6	2,97	3,86	6,17
15	2041	1610	25	160,0	1,3	1,6	2,98	3,88	6,20
16	2042	1618	25	160,0	1,3	1,6	3,00	3,90	6,23
17	2043	1626	25	160,0	1,3	1,6	3,01	3,91	6,26
18	2044	1634	25	160,0	1,3	1,6	3,03	3,93	6,30
19	2045	1643	25	160,0	1,3	1,6	3,04	3,95	6,33
20	2046	1651	25	160,0	1,3	1,6	3,06	3,97	6,36
21	2047	1659	25	160,0	1,3	1,6	3,07	3,99	6,39
22	2048	1667	25	160,0	1,3	1,6	3,09	4,01	6,42
23	2049	1676	25	160,0	1,3	1,6	3,10	4,03	6,45
24	2050	1684	25	160,0	1,3	1,6	3,12	4,05	6,49
25	2051	1692	25	160,0	1,3	1,6	3,13	4,07	6,52

Fuente. (Consultoría.)

7. CÁLCULO HIDRÁULICO Y VERIFICACIÓN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Una vez realizado el análisis de la situación actual del sistema de almacenamiento del acueducto Aguablanca se pudo determinar que, cuentan con un tanque de almacenamiento (Plateros) en concreto el cual se encuentra en un predio con cerramiento donde también se ubica la PTAP, cuyas dimensiones externas son de 12 m x 12 m x 3 m, es decir, se cuenta con un volumen útil de 388 m^3. A simple vista y de acuerdo con lo conversado no se presentan filtraciones en la estructura, se realiza lavado y desinfección del tanque cada cuatro meses.

Imagen 7-1 Tanque de almacenamiento existente (Plateros).



Fuente. (Consultoría.)

De acuerdo con lo anterior, se presenta la verificación del cálculo de almacenamiento requerido para el acueducto Aguablanca.

7.1 CÁLCULO DE VOLUMEN POR CRITERIO DE ALMACENAMIENTO.

De acuerdo con el artículo 81 de la res. 330/2017. La capacidad de almacenamiento debe ser igual a 1/3 del volumen distribuido a la zona que va a ser abastecida en el día de máximo consumo. Según lo anterior, se calcula el volumen distribuido en un día de máximo consumo para el acueducto de Aguablanca.

$$\text{Vol. Almacenamiento Diario (m3)} = \text{QMD} * 86.4$$

$$\text{Vol. Almacenamiento Diario (m3)} = 4.07 * 86.4$$

$$\text{Vol. Almacenamiento Diario (m3)} = 351.65$$

$$\text{Capacidad de almacenamiento (m3)} = 351.65 * \frac{1}{3}$$

$$\mathbf{Capacidad\ de\ almacenamiento\ (m3) = 116.04}$$

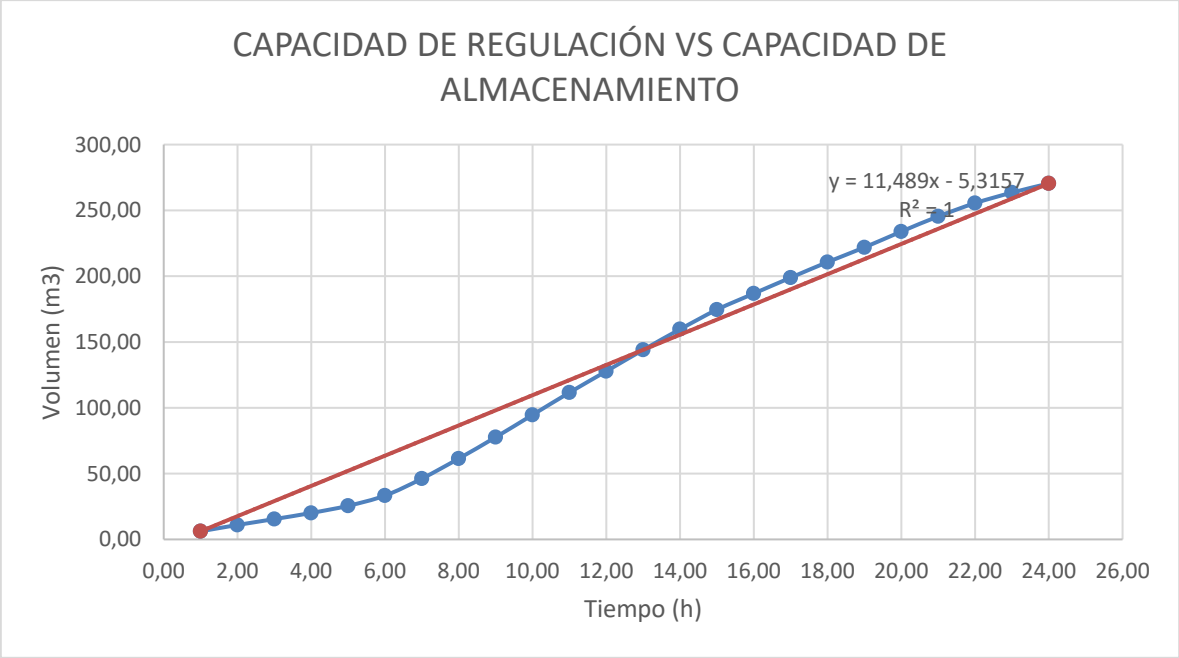
De acuerdo con lo anterior, la capacidad total del tanque para los usuarios del acueducto Aguablanca corresponde a 116.04 m^3.

7.2 CÁLCULO DE VOLUMEN POR CRITERIO DE REGULACIÓN.

Partiendo de que el volumen del tanque de almacenamiento debe ser la mayor cantidad obtenida entre la curva de capacidad de regulación y la curva de capacidad de almacenamiento, se construyó la curva de regulación de almacenamiento, basados en los patrones de consumo de un acueducto veredal

de similares características al acueducto de Aguablanca, lo anterior, teniendo en cuenta que no se cuenta con datos de consumos históricos por suscriptor en el archivo del acueducto. El comportamiento entre la capacidad de regulación y la capacidad de almacenamiento se muestra en el siguiente gráfico.

Gráfico 7-1. Capacidad de Regulación Vs Capacidad de Almacenamiento



Fuente. (Consultoría.)

De la gráfica anterior se establece la mayor cantidad del balance de masas entre el caudal de entrada y el caudal de salida que representa el consumo variable por los usuarios del acueducto Aguablanca.

$$\text{Volumen Tanque por regulación } (\text{m}^3) = \text{Volumen Superior } + \text{Volumen Inferior}$$

$$\text{Volumen Superior } (\text{m}^3) = \text{Vol. Acu} - (\text{mx} + \text{b})$$

$$\text{Volumen Superior } (\text{m}^3) = 33.29$$

$$\text{Volumen Inferior } (\text{m}^3) = (\text{mx} + \text{b}) - \text{Vol. Acu}$$

$$\text{Volumen Inferior} = 47.77$$

$$\text{Volumen Tanque por regulación } (\text{m}^3) = 33.29 + 47.77$$

$$\text{Volumen Tanque por regulación } (\text{m}^3) = 81.06$$

7.3 VOLUMEN PARA PROVISIÓN DE CONTROL DE INCENDIOS ESTRUCTURALES.

Para determinar el volumen para provisión de control de incendios se evaluó el Plan de gestión del riesgo y estrategia de respuesta del municipio de Arcabuco el cual establece que el municipio se encuentra en nivel de riesgo BAJO en cuanto a incendios estructurales.

Dicho esto, el porcentaje de incremento de volumen para control de incendios corresponde a 15%.

7.4 CÁLCULO DE VOLUMEN TOTAL DE ALMACENAMIENTO.

Como se ve en la gráfica anterior, la curva de entrada con respecto a la curva de demanda es bastante congruente, donde no se observan picos pronunciados ni de desalmacenamiento ni de almacenamiento.

Considerando que el volumen de almacenamiento requerido por criterio de almacenamiento es mayor al volumen calculado por criterio de regulación, se determina que el volumen del tanque estará dominado por el criterio de almacenamiento y a este volumen se le adiciona el volumen para provisión de

control de incendios estructurales. Por lo anterior, para el presente proyecto se selecciona el volumen de 116.04 m³ + volumen de control de incendios estructurales.

$$\text{Vol total almacenamiento}(\text{m}^3) = \text{Volumen por citerio de almacenamiento} + \text{volumen para provisión de control de incendios estructurales}$$

$$\text{Vol total almacenamiento}(\text{m}^3) = 116.04 + 17.41$$

$$\text{Vol total almacenamiento}(\text{m}^3) = 133.45$$

Según lo anterior, el volumen de almacenamiento requerido para el acueducto Aguablanca es de 133.45 m³ aproximadamente. Actualmente se cuenta con una estructura cuyas dimensiones son de 12 m x 12 m x 2.7 m, las cuales cubican un volumen de 388 m³, es decir, con el volumen existente se cumplen los requerimientos de almacenamiento del acueducto de acuerdo con la demanda requerida por lo que no es necesario ampliar la capacidad de dicha estructura.

Tabla 7-1 Dimensiones almacenamiento

Dimensiones constructivas	Tanque de almacenamiento existente
Ancho (m)	12
Largo (m)	12
Profundidad Útil (m)	2.7
Capacidad(m³)	388

Fuente. (Consultoría.)

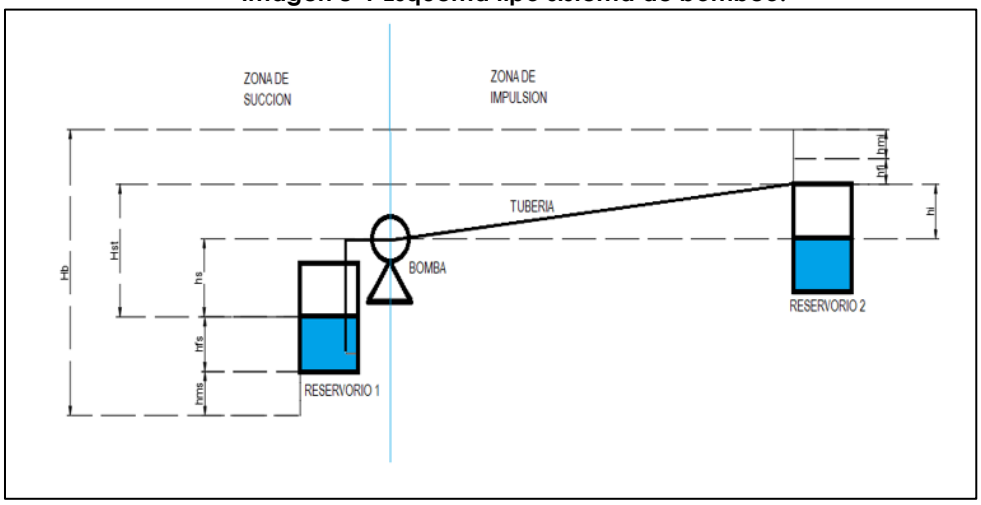
8. SISTEMA DE BOMBEO Y RED DE IMPULSIÓN

8.1 EVALUACIÓN, VERIFICACIÓN Y DISEÑO SISTEMA DE BOMBEO

Los equipos de bombeo se emplean junto con sistemas de conducción de agua, cuando la energía disponible para operación de dicho sistema no es suficiente para hacer que este funcione por gravedad.

Para iniciar el desarrollo de la misma deben conocerse las variables iniciales como es la longitud, el diámetro, la rugosidad absoluta y los diferentes coeficientes de pérdidas menores de cada uno de los accesorios, las propiedades del fluido como son la densidad y la viscosidad dinámica. Igualmente se debe conocer la altura estática de bombeo, lo anterior, para determinar la potencia de la bomba. En la siguiente figura se observa un esquema de las variables que hacen parte de un sistema de bombeo.

Imagen 8-1 Esquema tipo sistema de bombeo.



Fuente. (Consultoría.)

Actualmente el sistema de bombeo está compuesto por una bomba de 60 hp que cuenta con una transmisión por correas mediante un sistema de poleas, el cual está conectado a un voltaje de 220 voltios. Así como se muestra en la siguiente figura.

Imagen 8-2 Sistema de bombeo existente.



Fuente. (Consultoría.)

De acuerdo con lo expresado por la junta administradora del acueducto, el sistema de bombeo actual tiene altos consumos energéticos, los cuales ocasionan que muchas veces no se puedan bombear las horas diarias necesarias para garantizar el suministro de agua potable a los usuarios del acueducto Aguablanca e incluso que existan retrasos en el pago de la factura del servicio de energía. Por lo anterior, el presente estudio tiene dentro de sus finalidades el planteamiento de posibles alternativas que lleven a reducir el consumo energético del acueducto. Inicialmente se realizará el cálculo, comprobación y selección del equipo requerido de acuerdo con la proyección de caudales y demanda a 25 años.

SELECCIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO							
VARIABLE	**NOM**	**UND**	**FORMULACIÓN**	**OBSERVACIONES**	**QMD [2026]**	**QMD [2036]**	**QMD [2051]**
1. PARAMETROS DE DISEÑO							
Caudal de Diseño	Qd	[L/S]		Caudales de diseño	3,60	3,78	**4,07**
Caudal de aguas residuales a Bombear	Qga	[L/S]	Qb = Qd / Fs		3,60	3,78	4,07
Cota máxima topográfica - Nivel máximo de aguas tanque de distribución	Dh	[msnm]			**3336,28**	3336,28	3336,28
Cota de fondo Estación de Bombeo	CF	[msnm]			2887,71	2887,71	2887,71

Cota Eje de la Bomba	CB	[msnm]		0.3m sobre nivel de piso	**2888,01**	2888,01	2888,01
Diferencia topográfica	Dt	[m]	Dt = Dh - CB		448,27	448,27	448,27
Numero de bombas en paralelo	Nb	[un]		Funcionamiento alternado	1,00	1,00	1,00
Temperatura del Agua	Ta	[°C]			15	15	15
Viscosidad del Agua	va	[m2/s]			1,146E-06	1,146E-06	1,146E-06
2. CAUDAL DE BOMBEO							
Horas de Bombeo diario Asumido	Hrb	[hr]		Horas de Bombeo Asumido	10,00	10,00	10,00
Factor de Uso del sistema de Bombeo	Fub	[-/-]	Fub = Hrb / 24hr		0,42	0,42	0,42
Caudal de Bombeo de aguas residuales	Qb	[L/s]	Qb = Qga / Fub		8,63	9,07	**9,78**
	Qb	[L/min]			517,92	544,41	586,70
	Qb	[m3/hr]			31,08	32,66	35,20
3. TUBERÍA DE SUCCIÓN POR BOMBA							
Caudal por bomba	Qb	[L/s]		Caudal maximo de operación por Bomba = 85L/s. Recomendaciones ENOHSA.	8,63	9,07	9,78

				Proyecto 6. Estaciones de Bombeo			
Longitud Total	Lt	[m]		Longitud de la Tubería	1,61	1,61	1,61
Material de la tubería Succión	Mt	[-]			ACERO	ACERO	ACERO
Rugosidad Absoluta de la Tubería	Rg	[m]		ANEXO 1. HIDRAULICA DE TUBERIAS. JUAN SALDARRIAGA	0,04600	0,04600	0,04600
Diámetro Nominal Tubería	ø	[mm]		Tubería ACERO ø3" [88.9mm Ext - 49.42mm int] SCH 80	102,26	102,26	102,26
Velocidad Tubería	Vt	[m/s]	Ve = 4 x Q / ∏ x øin^2	Artículo 15. Resolución 799 de 2021. Velocidad mínima > 0.5m/s	1,05	1,10	1,19
4. PERDIDAS DE ENERGÍA POR BOMBA							
Coeficiente de Perdidas en accesorios por línea de Impulsión	Km	[-/-]			13,87	13,87	13,87
Numero de Reynolds	NR	[-/-]	NR = Vt * ø / va		93784,52	98580,67	106238,69

Factor de Fricción	f	[-/-]	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{e}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)$	Aplicación de la Ecuación de ColeBrook-White. Pag 128. Hidráulica de Tuberías. Juan Saldarriaga	0,02	0,02	0,02
Perdidas Por Fricción Tubería	hf	[m.c.a.]	$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$	Ecuación de Darcy 1.38 Pag 128. Hidráulica de Tuberías. Juan Saldarriaga	0,02	0,02	0,02
Perdidas Por Fricción en Accesorios red impulsión y múltiple	hmm	[m.c.a.]	hm = Km x V^2 / 2 x g	Ecuación A.2.1. Coeficiente de Perdidas Menores por accesorios.	0,78	0,86	1,00
Carga de velocidad Múltiple	hvTm	[m.c.a.]	hvTm = Vt^2 / 2 x g		0,06	0,06	0,07
5. TUBERÍA EN MULTIPLE SISTEMA DE BOMBEO							
Caudal de Bombeo	Qb	[L/s]			8,63	9,07	9,78
Longitud Total Impulsión	Lt	[m]		Longitud de la Tubería	1,50	1,50	1,50
Material de la tubería Succión	Mt	[-]			ACERO	ACERO	ACERO
Rugosidad Absoluta de la Tubería	Rg	[m]		ANEXO 1. HIDRAULICA DE TUBERIAS. JUAN SALDARRIAGA	0,04600	0,04600	0,04600

Diámetro Nominal Tubería	ø	[mm]		Tubería ACERO ø3" [88.9mm Ext - 49.42mm int] SCH 80	102,26	102,26	102,26
Velocidad Tubería	Vt	[m/s]	Ve = 4 x Q / ∏ x øin^2	Artículo 15. Resolución 799 de 2021. Velocidad mínima > 0.5m/s	1,05	1,10	1,19
6. PERDIDAS DE ENERGÍA EN MULTIPLE							
Coeficiente de Perdidas en accesorios por línea de Impulsión	Km	[-/-]			16,27	16,27	16,27
Numero de Reynolds	NR	[-/-]	NR = Vt * ø / va		93784,52	98580,67	106238,69
Factor de Fricción	*f*	[-/-]	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{e}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)$	Aplicación de la Ecuación de ColeBrook-White. Pag 128. Hidráulica de Tuberías. Juan Saldarriaga	0,02	0,02	0,02
Perdidas Por Fricción Tubería	hf	[m.c.a.]		Ecuación de Darcy 1.38 Pag 128. Hidráulica de Tuberías. Juan Saldarriaga	0,02	0,02	0,02
Perdidas Por Fricción en Accesorios	hmm	[m.c.a.]	hm = Km x V^2 / 2 x g	Ecuación A.2.1. Coeficiente de Perdidas	0,92	1,01	1,18

red impulsión y múltiple				Menores por accesorios.			
Carga de velocidad Múltiple	hvTm	[m.c.a.]	hvTm = Vt^2 / 2 x g		0,06	0,06	0,07
7. TUBERÍA DE IMPULSIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO							
Caudal de Bombeo	Qb	[L/s]			8,63	9,07	9,78
Longitud Total Impulsión	Lt	[m]		Longitud de la Tubería	914,51	914,51	914,51
Material de la tubería Succión	Mt	[-]			ACERO	ACERO	ACERO
Rugosidad Absoluta de la Tubería	Rg	[m]		ANEXO 1. HIDRAULICA DE TUBERIAS. JUAN SALDARRIAGA	0,04600	0,04600	0,04600
Diámetro Calculado	Dn	[mm]	D(m)=1.3.Fub^1/4.Raiz(Qd)	Expresión 7.8 Diámetro de impulsión. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados	50,33	51,60	53,56
Diámetro Nominal Tubería	ø	[mm]		Tubería proyectada ø3" PVC SCH 80 - Ptrabajo 375	102,26	102,26	102,26
Velocidad Tubería	Vt	[m/s]	Ve = 4 x Q / ∏ x øin^2	Articulo 15. Resolución 799 de 2021. Velocidad mínima > 0.5m/s	1,05	1,10	1,19

8. PERDIDAS DE ENERGÍA EN LA RED DE IMPULSIÓN							
Coeficiente de Perdidas en accesorios por linea de Impulsión	Km	[-/-]			7,70	7,70	7,70
Numero de Reynolds	NR	[-/-]	NR = Vt * ø / va		93784,52	98580,67	106238,69
Factor de Fricción	f	[-/-]	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{e}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)$	Aplicación de la Ecuación de ColeBrook-White. Pag 128. Hidráulica de Tuberías. Juan Saldarriaga	0,02	0,02	0,02
Perdidas Por Fricción Tubería	hf	[m.c.a.]	$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$	Ecuación de Darcy 1.38 Pag 128. Hidráulica de Tuberías. Juan Saldarriaga	10,23	11,23	12,91
Perdidas Por Fricción en Accesorios red impulsión y múltiple	hmm	[m.c.a.]	hm = Km x V^2 / 2 x g	Ecuación A.2.1. Coeficiente de Perdidas Menores por accesorios.	0,43	0,48	0,56
Carga de velocidad Múltiple	hvTm	[m.c.a.]	hvTm = Vt^2 / 2 x g		0,06	0,06	0,07
9. ALTURA DINAMICA TOTAL SUCCIÓN							

Altura estática total	Hs	[m]		Altura desde el eje de la Bomba hasta el nivel a ser bombeado	448,27	448,27	448,27
Pérdidas por Fricción en Tubería	hfm	[m.c.a.]			10,27	11,27	12,95
Pérdidas por Accesorios Totales	hmT	[m.c.a.]			2,13	2,35	2,73
Carga de Velocidad totales	hvT	[m.c.a.]			0,17	0,19	0,22
Altura Dinámica Máxima Total	HDT	[m.c.a.]	HDT = Hs + hfm + hmT + hvT		**460,83**	**462,08**	**464,17**
10. POTENCIA DEL CONJUNTO MOTOR BOMBA - TEORICO							
Peso Específico del agua	g	[kN/m3]			9800,00	9800,00	9800,00
Eficiencia del motor	η	[-/-]			0,70	0,70	0,70
Potencia del conjunto del motor	PT	[Kw]	PT = g . Qb . Hm / η		**55,75**	**58,76**	**63,61**
Potencia del conjunto del motor	PT	[Hp]	PT = g . Qb . Hm / η	Potencia Calculada 85 Hp	**74,76**	**78,79**	**85,30**

Fuente. (Consultoría.)

De acuerdo con la evaluación y verificación del sistema de bombeo, se observa que para cumplir con las condiciones de demanda futura del acueducto se requiere una bomba con una potencia igual o similar a 85 Hp, sin embargo, esta potencia puede variar de acuerdo a los catálogos encontrados y ofrecidos en el mercado.

8.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA SELECCIÓN DE LA BOMBA

Para la selección adecuada de una bomba, es fundamental asegurarse de que cumpla con los requisitos específicos de altura y caudal que exige el sistema. La altura se refiere a la capacidad de la bomba para elevar el agua hasta la altura deseada, mientras que el caudal hace referencia al volumen de agua que debe ser transportado en un período de tiempo determinado.

Teniendo en cuenta que las características propias del sistema son bastante particulares por la altura dinámica total del proyecto la cual corresponde a 465 metros y por el bajo caudal que se necesita impulsar, se realizó la búsqueda de la bomba que cumpliera con los parámetros establecidos encontrando lo siguiente:

Tabla 8-1 Matriz de variables de selección de equipo de bombeo.

BOMBA	POTENCIA (Hp)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES	LIMITANTES
MWSR50 – General Pump.	120	5.52	Esta bomba corresponde a la misma línea del equipo que se tiene actualmente instalado, sin embargo, al contactar al proveedor y contextualizado con las características del proyecto, propuso un equipo con la misma	- Al aumentarse la potencia de la bomba actual, se debe cambiar el transformador existente el cual es de 75 kva. - Al ser una bomba de mayor potencia se aumenta el consumo de energía lo cual no cumple con las expectativas y

			referencia, pero con una potencia de 120 Hp.	requerimientos del proyecto. - El caudal máximo impulsado por la bomba corresponde a 5.52 lps, el cual es inferior al proyectado.
D85-45 X 6 - IHM	200	2.77	Bomba multietapa horizontal 3500RPM Eje Libre.	- Al aumentarse la potencia de la bomba actual, se debe cambiar el transformador existente el cual es de 75 kva. - Al ser una bomba de mayor potencia se aumenta el consumo de energía lo cual no cumple con las expectativas y requerimientos del proyecto. - El caudal máximo impulsado por la bomba corresponde a 5.52 lps, el cual es inferior al proyectado. - Tiene un mayor consumo con respecto a la bomba MWSR50 de General Pump.
SP 32-36 – GRUNDFOS	60.34	9.72	Bomba sumergible tipo lapicero 3510 RPM.	- Al ser una bomba tipo lapicero, debe construirse una

				estructura donde se pueda sumergir ya que el tanque de succión existente no tiene las dimensiones adecuadas para la bomba.

Fuente. (Consultoría.)

En la anterior tabla se evidencian las características y limitantes más importantes en cada una de las bombas encontradas en el mercado, se observa que dos de las bombas encontradas aumentan el consumo de energía (***MWSR50 – General Pump y D85-45 X 6 – IHM***), lo anterior, al ser equipos de mayor potencia que el existente; dicha situación requiere de cambiar el transformador existente de 75 kva.

Por otra parte, la alternativa de bomba sumergible tipo lapicero ***SP 32-36 – GRUNDFOS***, mantiene la potencia del sistema actual, lo cual evitaría el cambio de transformador, sin embargo, al ser de tipo sumergible y teniendo en cuenta sus dimensiones, se debe construir una estructura de almacenamiento y demoler la existente.

Luego de analizar cada una de las características, limitantes y bondades de cada uno de los equipos y teniendo en cuenta que una de las mayores problemáticas del acueducto es el alto consumo energético, se determina por parte de esta consultoría que la mejor alternativa en cuanto a los equipos ofertados corresponde a la bomba sumergible tipo lapicero de la marca **GRUNDFOS**. Se enuncian a continuación sus mayores bondades:

- Menor potencia por ende menor consumo de energía.
- Mayor caudal impulsado.
- Evita el cambio del transformador existente.

8.3 MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LÍNEA DE IMPULSIÓN

Para realizar la simulación hidráulica, se utilizó el software de modelación WaterGEMS. El alcance, metodología y resultados de esta actividad se describen a continuación.

WaterGEMS, es un software un que permite hacer el análisis y diseño de redes de de agua cruda y/o potable. Dentro de las capacidades de análisis de este programa se encuentran las siguientes:

Tiene como objetivo predecir el comportamiento dinámico del agua y su calidad dentro de sistemas de conducción y/o distribución. Los análisis pueden llevarse a cabo en periodos de tiempo extendido como en periodos de tiempo estacionario.

Para el modelo se consideró utilizar el sistema de unidades internacional y la ecuación de pérdidas en las conducciones de Hazen Williams.

Se presentan a continuación las características topológicas de la línea de impulsión del acueducto Aguablanca, esta red existente es en acero al carbón, tiene una longitud aproximada de 915 metros y diámetro de 4".

Tabla 8-2 Topología de línea de impulsión.

ID Tramo	*Longitud*	*Material*	*Diámetro interno*	*Diámetro*	*Hazen-Williams C*
	(m)		*(mm)*	*(pulg)*	*(mm)*
P-1	10	ACERO	104	4	140
P-2	17	ACERO	104	4	140
P-3	19	ACERO	104	4	140
P-4	14	ACERO	104	4	140
P-5	12	ACERO	104	4	140
P-6	11	ACERO	104	4	140
P-7	14	ACERO	104	4	140
P-8	12	ACERO	104	4	140

P-9	12	ACERO	104	4	140
P-10	16	ACERO	104	4	140
P-11	16	ACERO	104	4	140
P-12	18	ACERO	104	4	140
P-13	16	ACERO	104	4	140
P-14	15	ACERO	104	4	140
P-15	15	ACERO	104	4	140
P-16	14	ACERO	104	4	140
P-17	14	ACERO	104	4	140
P-18	22	ACERO	104	4	140
P-19	19	ACERO	104	4	140
P-20	23	ACERO	104	4	140
P-21	17	ACERO	104	4	140
P-22	16	ACERO	104	4	140
P-23	20	ACERO	104	4	140
P-24	22	ACERO	104	4	140
P-25	20	ACERO	104	4	140
P-26	20	ACERO	104	4	140
P-27	22	ACERO	104	4	140
P-28	22	ACERO	104	4	140
P-29	27	ACERO	104	4	140
P-30	28	ACERO	104	4	140
P-31	27	ACERO	104	4	140
P-32	25	ACERO	104	4	140
P-33	25	ACERO	104	4	140
P-34	28	ACERO	104	4	140
P-35	27	ACERO	104	4	140
P-36	24	ACERO	104	4	140
P-37	30	ACERO	104	4	140
P-38	25	ACERO	104	4	140

P-39	25	ACERO	104	4	140
P-40	32	ACERO	104	4	140
P-41	26	ACERO	104	4	140
P-42	24	ACERO	104	4	140
P-43	25	ACERO	104	4	140
P-44	19	ACERO	104	4	140
P-45	26	ACERO	104	4	140

Fuente. (Consultoría.)

De la tabla anterior se establece que se tiene un total de 915 m de tubería de impulsión donde se tiene el siguiente resumen de la clasificación de materiales:

Tabla 8-3 Resumen de tuberías línea de impulsión.

MATERIAL	**Diámetro interno** (mm)	**Diámetro** (pulg)	**Longitud** (m)
ACERO CARBON SCH 40	104	4	915

Fuente. (Consultoría.)

8.4 ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE LA LÍNEA DE LA IMPULSIÓN.

Con base en la conformación del sistema de acueducto, se construyó un escenario para cada una de las fases en el modelo hidráulico y de esta forma poder determinar de la manera más acertada posible las diferentes condiciones de funcionamiento actual del sistema. El análisis se realizó con el QMD para la línea de impulsión.

- **Caudal para la Simulación:** El caudal con el cual se simula la impulsión corresponde al QMD recordando que se ha calculado en proyección de

caudales de todo el sistema de acueducto del mismo documento. Este caudal se agrego al ultimo nodo de la linea de impulsión.

- **Presiones en la línea de impulsión:** Para el análisis de las presiones se tiene como referencia la presión máxima de trabajo de las tuberías.

La relación de las presiones obtenidas en los nodos de la línea de impulsión es la siguiente:

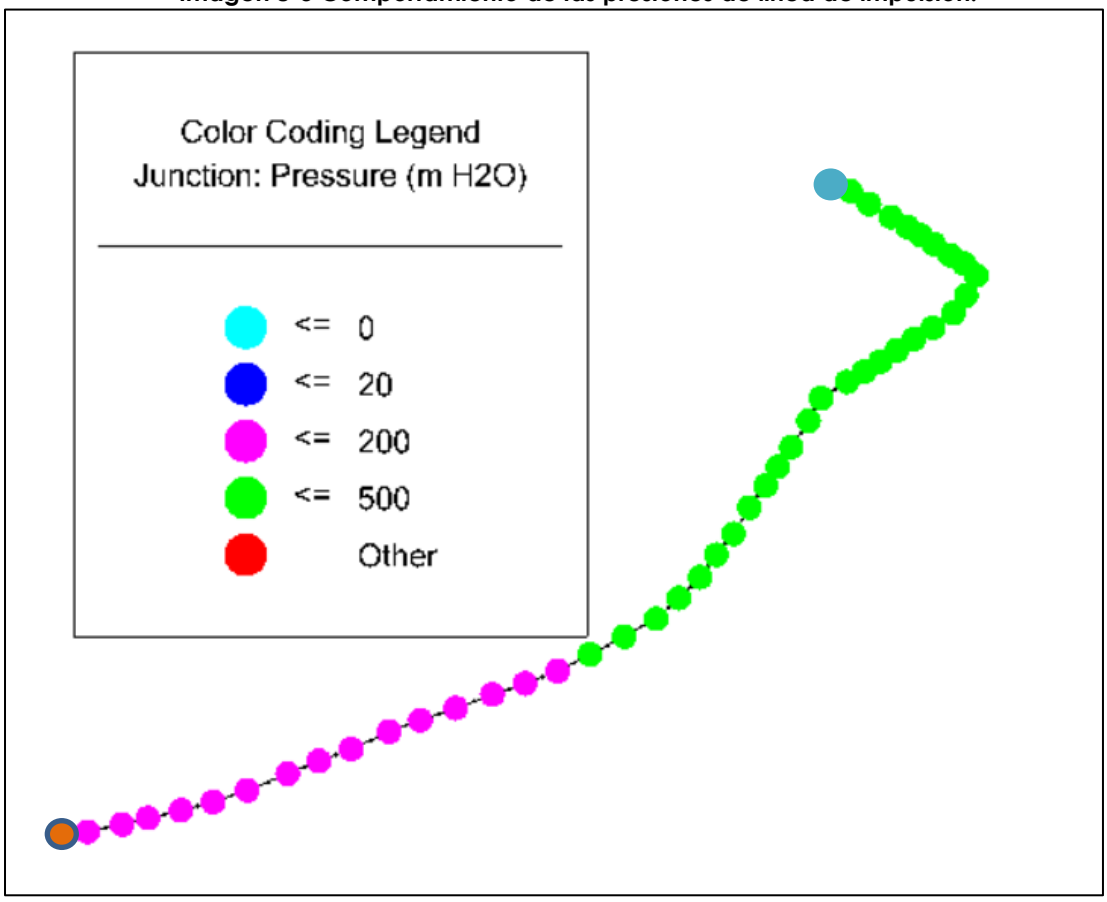
Tabla 8-4 Presiones en los nodos de línea de impulsión.

Presión (m.c.a.)	Cantidad de nodos	Porcentaje (%)
P < 0	0	0
P < 10	0	0
10 ≤ P ≤ 200	15	33,3
P > 200	30	66,7
Total	45	100

Fuente. (Consultoría.)

La situación anteriormente descrita puede ser evidenciada en la siguiente figura.

Imagen 8-3 Comportamiento de las presiones de línea de impulsión.



TANQUE DE BOMBEO TANQUE DE LLEGADA (COPETÓN).

Fuente. (Consultoría.)

A partir de la figura anterior es imprescindible tener en cuenta las presiones máximas de trabajo de las tuberías en ACERO AL CARBÓN por lo que en primera instancia las presiones de los nodos evaluados no superan las presiones de trabajo de las tuberías.

La relación de las velocidades obtenidas en los tramos de la línea de aducción es la siguiente:

Tabla 8-5 Velocidad en los tramos de línea de impulsión.

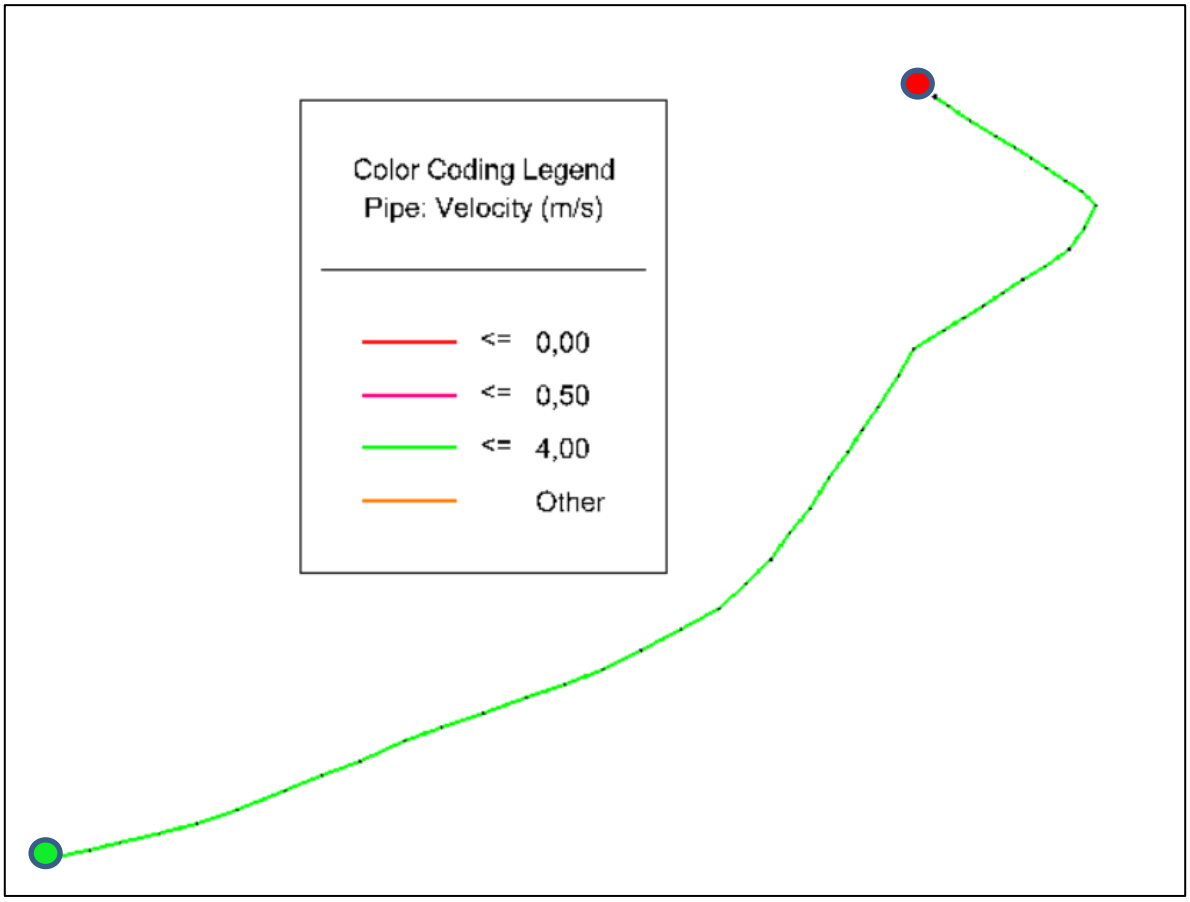
Velocidad (m/s)	Cantidad de tramos	Porcentaje (%)
V < 0	0	0
V < 0.5	0	0
0.5 ≤ V ≤ 3	45	100
V > 3	0	0
Total	45	100

Fuente. (Consultoría.)

La resolución 330/2017 establece en su artículo 56 la velocidad mínima debe ser de 0.5 m/s mientras que la velocidad no deberá sobrepasar los límites de velocidad recomendados para el material del ducto. En este orden de ideas el comportamiento hidráulico se presenta optimo.

La situación anteriormente descrita puede ser evidenciada en la siguiente figura.

Imagen 8-4 Comportamiento de las velocidades de línea de impulsión.



TANQUE DE BOMBEO TANQUE DE LLEGADA (COPETÓN).

Fuente. (Consultoría.)

La simulación hidráulica evidencia las velocidades presentes en la línea de impulsión, en el código de colores se definieron rangos para establecer el comportamiento de la variable, se observa que la red de impulsión proveniente del tanque de bombeo tiene velocidades superiores a 0.5 m/s e inferiores a 4 m/s.

8.5 CÁLCULO DE GOLPE DE ARIETE.

Con el fin de analizar y prevenir daños en la tubería de impulsión y/o en la bomba por las sobrepresiones causadas por posibles cambios bruscos en la velocidad del fluido, cierre de válvulas, parada abrupta de la bomba, entre otros. Se realiza a continuación el cálculo del golpe de ariete que no es otra cosa que la suma de la presión estática y la presión de golpe de ariete.

GOLPE DE ARIETE					QMD [2026]	QMD [2036]	QMD [2051]
VARIABLE	**NOM**	**UNIDAD**	**FORMULACIÓN**	**OBSERVACIONES**			
CONDUCCIÓN							
Caudal de diseño	**Qd**	**[L/s]**			8,63	9,07	9,78
Diámetro Exterior	**Dext**	**[mm]**			88,90	88,90	88,90
Diámetro interior	**Dint**	**[mm]**			73,66	73,66	73,66
Espesor	**e**	**[mm]**			15,24	15,24	15,24
Material	**Ma**	**[-/-]**			PVC	PVC	PVC
RDE					21,00	21,00	21,00
Relación entre el modulo de elasticidad del agua y el material de la tubería	**K**	**[Kg/cm2]**	K = 10E10 / E		71,43	71,43	71,43
Modulo de elasticidad del material de la tubería	**E**	**[Kg/cm2]**		Modulo de elasticidad de la tubería. Manual ACUAFLEX PAVCO	14000,00	14000,00	14000,00
		[Kg/m2]			1,40E+08	1,40E+08	1,40E+08
Longitud del tramo de Tubería	**L**	**[m]**			914,51	914,51	914,51
PARAMETROS HIDRAULICOS DE LA CONDUCCION							
Altura Manométrica	**Hm**	**[m.c.a.]**		Calculado en la selección	460,83	462,08	464,17

				del equipo de Bombeo			
Coeficiente según pendiente	**CP**	**[-/-]**		Estudios de transitorios. UBA Perez Farras	1,00	1,00	1,00
Valor que depende de la Conducción	**KL**	**[-/-]**		Estudios de transitorios. UBA Perez Farras	1,00	1,00	1,00
Velocidad del Agua	**Va**	**[m/s]**	Va = Q / A		2,03	2,13	2,29
Tiempo de parada	**TP**	**[s]**	T = CP + (KL.L.Va)/(g.Hm)	Formula de mendiluce. Estudios de transitorios. UBA Perez Farras	1,41	1,43	1,46
VELOCIDAD DE PROPAGACION DE LA ONDA							
Velocidad de Propagación de la onda	**C**	**[m/s]**	C = 9900 / (48.3+ K (Dint/e))^1/2		499,05	499,05	499,05
TIEMPO CRITICO CIERRE (MANIOBRA DE CIERRE)							
Tiempo Critico	**Tc**	**[s]**	Tc = 2 . L / C		3,67	3,67	3,67
Maniobra de Cierre					CIERRE BRUSCO	CIERRE BRUSCO	CIERRE BRUSCO
CALCULO DE LA SOBREPRESION							
Sobrepresión Cierre Brusco	**dHmax**	**[m]**		Aplicación de Allievi	103,05	108,32	116,73
Sobrepresión Cierre Lento	**dHmax**	**[m]**		Aplicación de Michaud	No Aplica	No Aplica	No Aplica
VERIFICACIÓN PRESION NOMINAL DE TRABAJO TUBERÍA							
Presión en tubería	**dH**	**[psi]**			655,46	657,23	660,21
Sobrepresión Calculada	**dHmax**	**[psi]**			146,57	154,06	166,03
Presión total	**dHmax**	**[psi]**			802,03	811,29	826,24
Tubería Seleccionada :	**PN**	**[psi]**			375,00	375,00	375,00

		[bar]		Presión de trabajo tubería SCHD 40. TUBOSISTEMAS SCH 40	9695,75	9695,75	9695,75

Según lo expuesto anteriormente, se evidencia que la sobrepresión calculada por el fenómeno de golpe de ariete corresponde a **166.03 PSI** y la presión en la tubería de impulsión corresponde a **660.21 PSI.**

Por lo anterior, se debe garantizar que la tubería empleada en la línea de impulsión soporte una presión máxima aproximada de **826.24 PSI**; teniendo en cuenta que el material de la tubería de impulsión existente corresponde a SCH-40 acero al carbón 4", se valida que esta línea tiene la capacidad de soportar la presión en la tubería y la sobrepresión calculada.

8.6 ANÁLISIS DEL DIÁMETRO MÁS ECONÓMICO.

Para el cálculo del diámetro más económico para la red de impulsión se tuvieron en cuenta dos métodos, el de Vibert y el Bresse. A continuación, se calculan cada uno de los dos.

SELECCIÓN DE LOS DIAMETROS MAS ECONOMICOS							
VARIABLE	**NOM**	**UND**	**FORMULACIÓN**	**OBSERVACIONES**	**QMD [2026]**	**QMD [2036]**	**QMD [2051]**
1. APLICANDO LA FORMULA DE VIBERT							
Caudal de diseño	Qd	[L/s]			8,63	9,07	**9,78**

Coeficiente de Fricción	f	[-/-]			0,002	0,002	0,002
Rendimiento de la Bomba	n	[-/-]			51,0%	51,00%	51,00%
Tasa de interés	r	[%]			3,50%	3,50%	3,50%
Inflación anual	ia	[%]		Inflación proyectada por el banco de la república año 2025.	2,80%	2,80%	2,80%
Tasa de interés real	r+	[%]	r+=r-ia		0,70%	0,70%	0,70%
Coeficiente a	a	[-/-]	$a = \frac{(1+r)^t \times r}{(1+r)^t - 1}$	Vida útil de 25 años	0,0437	0,0437	0,0437
Precio energía	pe	[$/kWh]		**Tarifas de energía Eléctrica EBSA 2025**	**748,27**	**892,67**	**892,67**
Numero anual de horas de funcionamiento	h	[hr]			3600,00	3600,00	3600,00
Diámetro más económico	D	[m]	$D = 1{,}165 \times \left[\frac{f}{\eta} \times \left(0{,}5 + 1{,}44 \times 10^{-4} \times \frac{p}{p'} \times \frac{h}{a}\right)\right]^{0{,}154} \times Q^{0{,}462}$ Formula de Vibert.		0,08	0,08	0,08
		[mm]			78	80	82

2. APLICANDO EL MÉTODO DE BRESSE

Bombeo continuo							
Coeficiente de Bresse	Ko	[-/-]		Factor entre 1.2 a 1.5	1,20	1,20	1,20
Diámetro más económico	Dc	[m]	Dc = Ko.raiz(Qd)		0,11	0,11	0,12
		[mm]			111,49	114,31	118,66

3. SELECCIÓN DEL DIÁMETRO MAS ECONÓMICO

Promedio de diámetros calculados		[mm]			94,65	96,97	100,55

Diámetro seleccionado Impulsión		[mm]			102,26	102,26	102,26

Como se puede observar en la comprobación del cálculo del diámetro más económico, el promedio de diámetros calculados mediante los dos métodos (Vibert y Bresse), corresponde a 100,55 mm, lo cual es congruente teniendo en cuenta que el diámetro interno actual de la línea de impulsión es de 4" ≈ 102.26 mm. Por lo anterior, no se hace necesario plantear alternativas de cambio en la red de impulsión.

9. RED DE CONDUCCIÓN ENTRE TANQUE COPETÓN Y TANQUE PLATEROS.

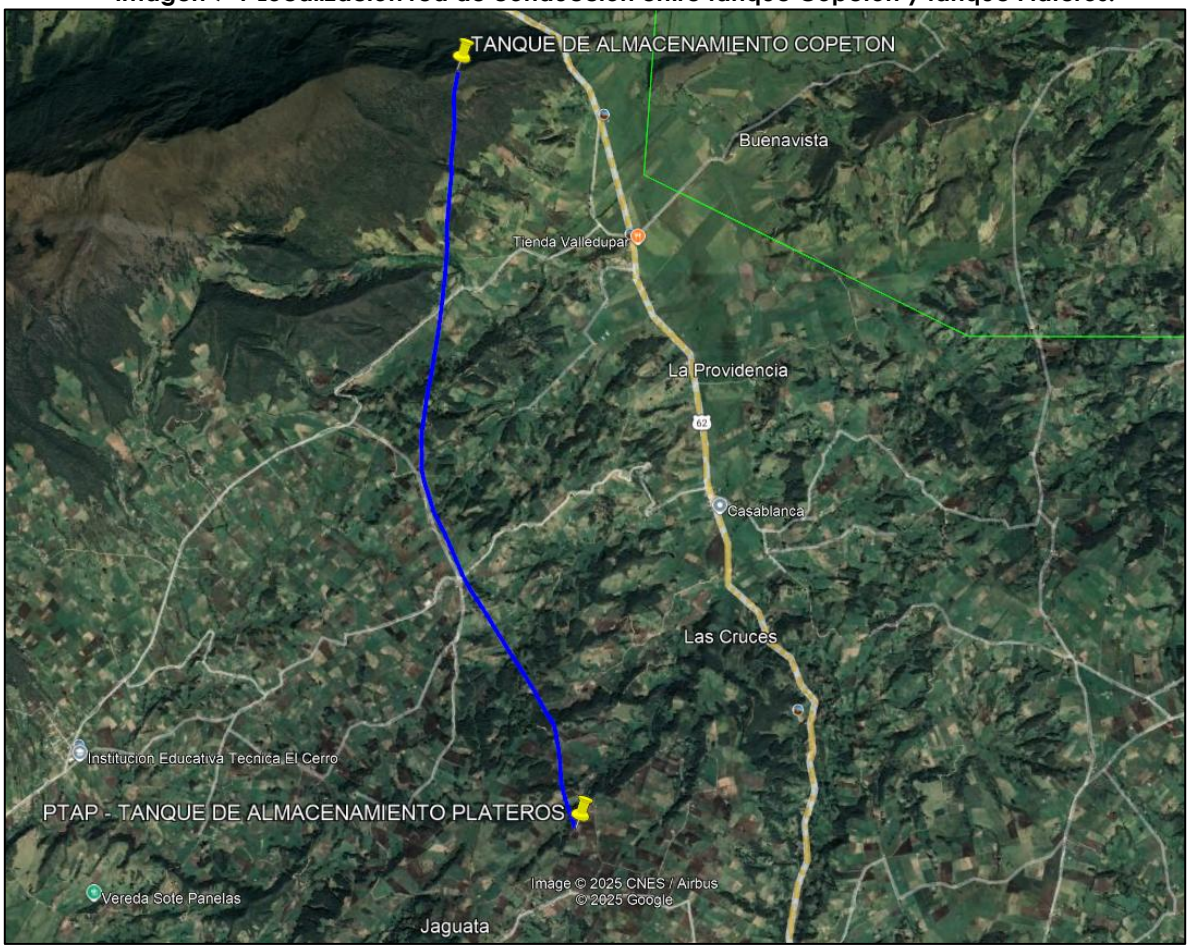
La línea de conducción entre el tanque Copetón y tanque Plateros está conformada por 5420 ml de tubería en 4" PVC RDE 21, la cual fue instalada hace más de veinte años. En el levantamiento topográfico se identificaron cinco válvulas de purga y once ventosas a lo largo del trazado. En algunas válvulas de purga se identificaron manómetros los cuales sirvieron de apoyo para comparar presiones en campo con los resultados de las simulaciones hidráulicas.

Por otra parte, se identificó un sector donde se construyó una casa por encima de la línea, por lo que se realizaron alternativas de trazado para evitar dicha interferencia.

En mesas técnicas con el fontanero y operario del acueducto, informaron que se presume que hay bastantes fugas a lo largo de la red, roturas constantes en puntos más bajos y aplastamiento de la misma. Por estas razones, la comprobación hidráulica resulta trascendente a fin de plantear alternativas de optimización que permitan dar solución a las problemáticas existentes. A continuación, se presenta

la conformación de la red de conducción, donde se visualizan los diámetros existentes, materiales y rugosidades de estos.

Imagen 9-1 Localización red de conducción entre tanque Copetón y tanque Plateros.



Fuente. Google – Earth - (Consultoría.)

Se puede observar en la figura anterior la red de conducción por gravedad de color azul, la cual se localiza el tanque de almacenamiento Copetón como punto de inicio y la Planta de tratamiento de agua potable y tanque de almacenamiento Plateros como llegada y fin de la red de conducción.

Tabla 9-1 Topología de red de conducción.

ID Tramo	*Longitud*	*Material*	*Diámetro interno*	*Diámetro*	*HAZEN WILLIAMS C*
	(m)		*(mm)*	*(pulg)*	
P-1	3	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-2	3	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-3	5	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-4	20	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-5	21	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-6	22	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-7	25	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-8	21	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-9	31	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-10	42	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-11	23	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-12	17	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-13	28	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-14	31	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-15	36	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-16	37	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-17	31	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-18	30	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-19	49	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-20	46	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-21	36	PVC (RDE 21)	103,4	4	140

P-22	34	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-23	19	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-24	42	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-25	55	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-26	39	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-27	44	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-28	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-29	17	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-30	39	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-31	35	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-32	34	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-33	30	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-34	28	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-35	35	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-36	23	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-37	21	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-38	30	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-39	22	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-40	21	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-41	32	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-42	41	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-43	30	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-44	29	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-45	25	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-46	28	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-47	23	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-48	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-49	22	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-50	31	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-51	23	PVC (RDE 21)	103,4	4	140

P-52	20	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-53	24	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-54	22	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-55	25	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-56	28	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-57	15	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-58	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-59	22	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-60	24	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-61	31	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-62	61	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-63	46	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-64	44	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-65	43	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-66	39	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-67	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-68	30	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-69	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-70	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-71	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-72	31	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-73	27	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-74	28	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-75	25	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-76	16	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-77	28	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-78	29	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-79	27	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-80	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-81	33	PVC (RDE 21)	103,4	4	140

P-82	4	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-83	4	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-84	21	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-85	31	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-86	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-87	30	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-88	19	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-89	8	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-90	34	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-91	22	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-92	16	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-93	18	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-94	31	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-95	30	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-96	28	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-97	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-98	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-99	23	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-100	37	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-101	35	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-102	40	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-103	32	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-104	28	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-105	27	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-106	23	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-107	31	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-108	34	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-109	29	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-110	28	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-111	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140

P-112	21	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-113	21	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-114	25	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-115	29	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-116	46	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-117	31	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-118	32	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-119	40	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-120	34	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-121	22	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-122	28	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-123	22	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-124	17	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-125	9	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-126	14	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-127	19	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-128	23	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-129	18	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-130	21	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-131	27	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-132	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-133	23	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-134	21	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-135	23	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-136	28	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-137	23	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-138	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-139	30	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-140	20	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-141	21	PVC (RDE 21)	103,4	4	140

P-142	24	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-143	28	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-144	38	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-145	30	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-146	29	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-147	31	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-148	38	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-149	37	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-150	36	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-151	24	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-152	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-153	7	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-154	6	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-155	27	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-156	31	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-157	27	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-158	31	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-159	15	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-160	13	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-161	18	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-162	29	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-163	32	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-164	29	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-165	27	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-166	21	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-167	12	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-168	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-169	19	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-170	21	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-171	24	PVC (RDE 21)	103,4	4	140

P-172	55	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-173	33	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-174	22	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-175	15	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-176	32	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-177	28	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-178	36	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-179	43	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-180	45	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-181	43	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-182	32	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-183	28	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-184	36	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-185	44	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-186	32	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-187	28	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-188	36	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-189	40	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-190	32	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-191	21	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-192	21	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-193	26	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-194	30	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-195	50	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-196	6	PVC (RDE 21)	103,4	4	140
P-197	6	PVC (RDE 21)	103,4	4	140

Fuente. (Consultoría.)

De la tabla anterior se establece que se tiene un total de 5420 m de tubería de conducción donde se tiene el siguiente resumen de la clasificación de materiales:

Tabla 9-2 Resumen de tuberías red de conducción.

MATERIAL	Diámetro interno (mm)	Diámetro (pulg)	Longitud (m)
PVC (RDE 21)	103,4	4	5420

Fuente. (Consultoría.)

9.1 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS RED DE CONDUCCIÓN.

Teniendo en cuenta que esta red es existente y las problemáticas encontradas son con respecto a las altas presiones a lo largo de la red, las alternativas planteadas están sujetas a la variación de material entre una y otra; analizando su resistencia, presiones máximas permitidas, facilidad y rendimiento de instalación, entre otros.

Para este análisis se considerarán 3 materiales diferentes: PVC, Acero al carbón y hierro dúctil (HD).

- **Alternativa 1 Material de la tubería de conducción en PVC exclusivamente.**

El policloruro de Vinilo PVC tiene las siguientes características:

- Es un material rígido que no permite deflexiones, por lo que requiere la instalación de más accesorios ante deflexiones del terreno.
- Es un material estable y muy inerte, tiene buena resistencia a los solventes, ácidos y bases.

- Es un material excepcionalmente resistente y su vida útil es superior a 50 años. Debido al Cloro que contiene, el PVC no se quema con facilidad ni arde por sí solo.

Tabla 9-3 Ventajas y desventajas alternativa 1 material de tubería para la conducción en PVC.

Ventajas	Desventajas
• Es resistente, con una vida útil de 50 años aproximadamente. • Fácil manipulación para tareas de cambio o reparación. • Fácil consecución de repuestos.	• Es bastante Rígido. • Utilización de más accesorios que el PEAD. • Fácil manipulación para realizar conexiones fraudulentas o ilegales. • Rendimiento de instalación más lento que el PEAD en pequeños diámetros. • Menos soporte a la presión con respecto a tuberías en HD ó acero al carbón.

Fuente. (Consultoría.)

- **Alternativa 2 Material de la tubería de conducción en Acero al carbón y PVC.**

Las características de este material son las siguientes:

- Resistencia mecánica: Soportan cargas y presiones considerables, lo que las hace ideales para aplicaciones rigurosas.
- Durabilidad: Son un material muy duradero y robusto.
- Resistencia a la presión y temperatura: Tienen una alta resistencia a la presión y son adecuadas para soportar altas temperaturas.

Tabla 9-4 Ventajas y desventajas alternativa 1 material de tubería para la conducción en Acero al carbón.

Ventajas	Desventajas
• El acero al carbono es muy fuerte y soporta altas presiones, lo que lo hace ideal para sistemas industriales y de alta tensión. • El acero es un material con un alto potencial de reciclaje al final de su vida útil. • Es un material muy duradero y robusto.	• Corrosión y oxidación: Es el principal punto débil. Sin un recubrimiento protector (como el galvanizado), es susceptible a la herrumbre y la corrosión, lo que puede comprometer la integridad del sistema y afectar la calidad del recurso. • Rendimiento de instalación más lento y necesidad de energía eléctrica para la instalación cuando las juntas son soldadas. • Requiere más mantenimiento preventivo para evitar la corrosión en comparación con materiales más resistentes a ella.

Fuente. (Consultoría.)

- **Alternativa 3 Material de la tubería de conducción en Hierro Dúctil y PVC.**

La tubería de Hierro Dúctil, es un producto de avanzada metalurgia, la cual ofrece propiedades únicas para la conducción de agua bajo presión y otros usos. Combina la resistencia de un acero con la larga vida del hierro gris fundido.

La tubería de Hierro Dúctil, ofrece el máximo margen de seguridad posible contra fallas de mantenimiento debido a los movimientos de tierra y esfuerzos residuales.

Virtualmente irrompible en condiciones de servicio ordinario, también ofrece una resistencia creciente a la ruptura producida por una manipulación tosca en el embarque e instalación.

Esta tubería cuenta con un revestimiento standard conformado por una capa interior de mortero de cemento y exteriormente por una capa de pintura bituminosa a partir de petróleo. Como una opción se puede suministrar la tubería con una capa de zinc metálico cuando la tubería se va a instalar en suelos muy corrosivos, o en su defecto se puede instalar con una manga de polietileno.

Tabla 9-5 Ventajas y desventajas alternativa 1 material de tubería para la conducción en Hierro Dúctil.

Ventajas	Desventajas
• Resistente a la deformación por cargas sobre el tubo una vez instalado, incluso a bajas profundidades. • Resiste presiones más elevadas que el PVC y el PEAD. • No requiere un encamado para la tubería, por lo cual minimiza el costo de la instalación.	• Se requiere personal capacitado para realizar reparaciones o instalaciones de tubería. • Repuestos no son muy comerciales en pequeñas poblaciones. • Tubería más costosa que las plásticas.

Fuente. (Consultoría.)

- **Selección de alternativa más adecuada para el material de la red de conducción.**

Con el fin de determinar el tipo de material más conveniente para la conducción entre los tanques Copetón y Plateros del acueducto Aguablanca, se han determinado las tres alternativas discutidas anteriormente, las cuales en base a los parámetros fijados: técnico, Económicos, Social y ambiental, serán evaluadas cuantitativamente tal y como se plantea en la siguiente Tabla.

Tabla 9-6 Matriz de evaluación para la selección de material de la línea de conducción.

ITEM	PORCENTAJES			VARIABLES DE EVALUACIÓN	ALTERNATIVA		
					1	2	3
	PUNTAJE MÁXIMO	RANGO	PUNTOS		Material de conducción en PVC	Material de conducción en ACERO AL CARBÓN y PVC	Material de conducción en HD y PVC
					Calificación	Calificación	Calificación
1	40	**Aspectos Técnicos**					
		0 - 20	0 - 5	Trazado de la red	2	2	2
			0 - 5	Perforación de conexiones erradas o Fraudulentas	1	4	4
			0 - 5	Utilización de accesorios	1	5	3
			0 - 5	Resistencia a altas presiones	0	5	5
		0 - 20	**Exigencias operativas y de Mantenimiento**				
			0 - 10	Experiencia del material por los operadores del sistema	10	5	10
			0 - 10	Porcentaje de Redes existente del Material	10	1	5
2	20	**Aspectos construcción**					
		0-20	0 - 10	Nivel de rendimiento en la instalación de la tubería	15	5	15
3	30	**Aspectos Económicos**					

ITEM	PORCENTAJES			VARIABLES DE EVALUACIÓN	ALTERNATIVA		
	PUNTAJE MÁXIMO	RANGO	PUNTOS		1	2	3
					Material de conducción en PVC	Material de conducción en ACERO AL CARBÓN y PVC	Material de conducción en HD y PVC
					Calificación	Calificación	Calificación
		0 - 20	**Inversión inicial**				
			0 - 20	Costos de construcción o directos	20	10	15
		0 - 10	**Costos de operación**				
			0 - 10	Costo de operación	4	5	7
5	10	**Aspectos Sociales y Ambientales**					
		0 - 10	0 - 10	Las alternativas no utilizan este aspecto de evaluación.	0	0	0
PUNTAJE TOTAL					**63**	**42**	**66**
ORDEN DE ELEGIBILIDAD					**2**	**3**	**1**

Fuente. (Consultoría.)

En los aspectos técnicos se puede observar que las tres alternativas se comportan semejante en cuanto al trazado, teniendo en cuenta que este ya está implementado y solo se hará un cambio por la construcción de una vivienda sobre la red, analizando las conexiones fraudulentas y el uso de accesorios, las tuberías en HD y acero al carbón tienen mayores ventajas en seguridad, ya que es mucho más difícil de manipular para hacer este tipo de conexiones, por otra parte el PVC con respecto a las tuberías metálicas soporta menor presión, para este caso en particular es una limitante bastante importante teniendo en cuenta que hay sectores que ni el RDE 13.5 soportaría dichas presiones; en cuanto a la exigencias

operativas y de mantenimiento, se puede observar que el PVC tiene total ventaja frente al acero y HD, pues el 100% de la red que existe actualmente en la red de conducción es en este material, y aunque el personal operativo tiene mayor destreza y experiencia en el manejo de este tipo de tuberías, también la gran mayoría de ellos tiene la habilidad para manipular esta clase de material.

En el aspecto constructivo podemos observar que las tuberías en PVC y en HD se comportan de manera similar en cuanto a rendimientos en la instalación, sin embargo, el acero al carbón no por lo que se realiza con juntas soldadas y se requiere de energía eléctrica para poder ejecutar este trabajo.

En los aspectos económicos, podemos observar que para los costos de construcción son menores los correspondientes a la alternativa N°1, la alternativa N°2 se convierte más costosa por el uso del equipo encargado de unir las longitudes de tubería de acero al carbón.

Cabe resaltar que a cada uno de los ítems a analizar se le asigna un mayor puntaje al cual otorgue mayor beneficio a la implementación del sistema. Las alternativas 2 y 3 corresponden a redes combinadas con respecto al material puesto que proponen la implementación de tubería metálica en las zonas de mayor presión y cambio de RDE 21 a 13.5 en zonas hasta donde la ficha técnica del material lo permite. La alternativa 1 se plantea únicamente en PVC teniendo en cuenta que actualmente funciona así, sin embargo, se deja salvedad que luego de realizar la evaluación hidráulica y comprobación en campo de las presiones de la red, hay sectores donde ni los RDE más gruesos encontrados en el mercado aceptan en sus fichas técnicas dichas presiones, razón por la cual, se hace necesario la implementación de tuberías metálicas.

Según los anteriores resultados, el puntaje sobresaliente entre las tres opciones, **es la alternativa 3, por lo que esta consultoría recomienda la ejecución de esta solución, Material de la tubería de conducción en HD y PVC.**

9.2 ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE RED DE CONDUCCIÓN.

Para realizar la simulación hidráulica, se utilizó el software de modelación WaterGEMS. El alcance, metodología y resultados de esta actividad se describen a continuación.

WaterGEMS, es un software un que permite hacer el análisis y diseño de redes de de agua cruda y/o potable. Dentro de las capacidades de análisis de este programa se encuentran las siguientes:

Tiene como objetivo predecir el comportamiento dinámico del agua y su calidad dentro de sistemas de conducción y/o distribución. Los análisis pueden llevarse a cabo en periodos de tiempo extendido como en periodos de tiempo estacionario.

Para el modelo se consideró utilizar el sistema de unidades internacional y la ecuación de pérdidas en las conducciones de Hazen Williams.

Para efectos de la simulación hidráulica de la red de conducción se tuvo en cuenta los siguientes criterios.

- **Caudal para la Simulación:** el caudal con el cual se simula la condición corresponde al QMD calculado en proyección de caudales. Este caudal esta en el ultimo nodo de la red de conducción teniendo en cuenta que a lo largo de la red no hay usuarios conectados ni otras demandas.

- **Presiones en la red de conducción:** Para el análisis de las presiones se tiene como referencia la presión máxima de trabajo de las tuberías

- La relación de las presiones obtenidas en los nodos de la red de conducción es la siguiente:

Tabla 9-7 Presiones en la red de conducción.

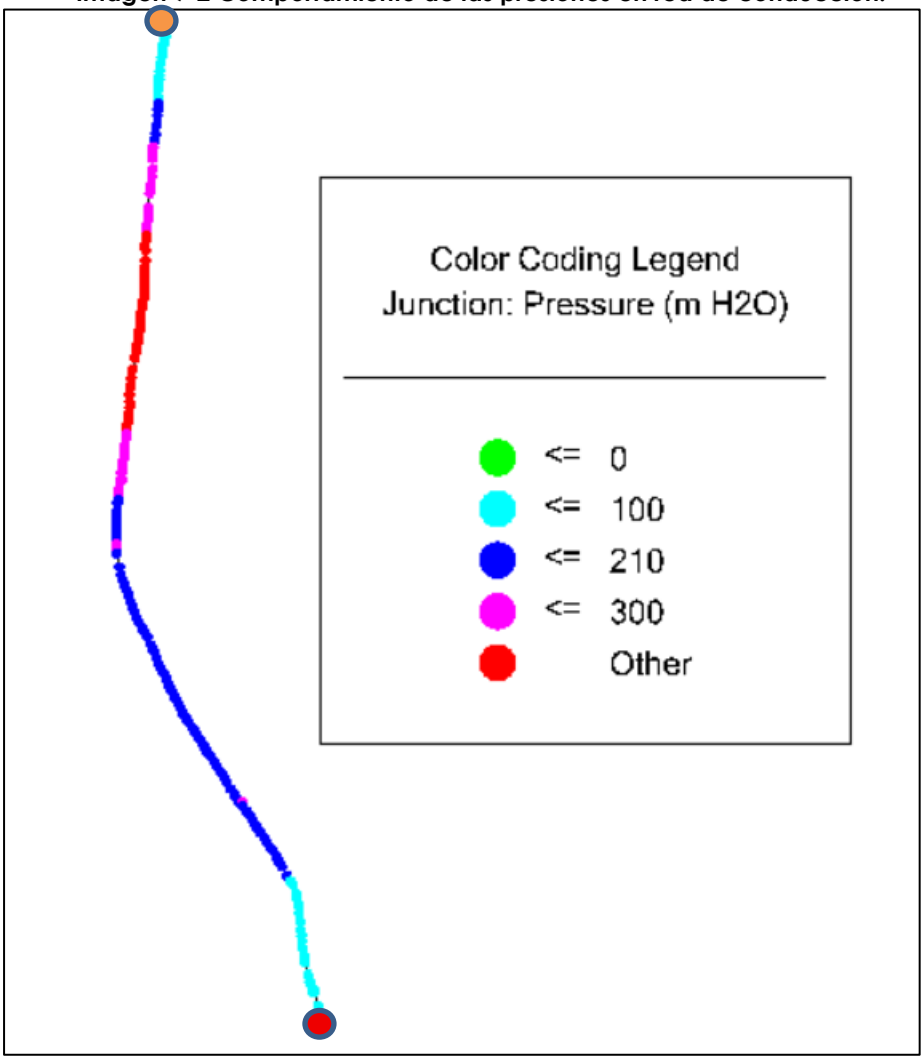
Presión (m.c.a.)	Cantidad de nodos	Porcentaje (%)
P < 0	0	0
P < 100	34	18,8
100 ≤ P ≤ 300	112	61,9
P > 300	35	19,3
Total	181	100

Fuente. (Consultoría.)

La simulación hidráulica refleja que la red de conducción tiene la capacidad para transportar la cantidad de agua demandada por la población en el momento que se presente el consumo pico (QMH), sin embargo, se presentan presiones por encima de lo permitido de acuerdo con el RDE del material, por lo que se deberá evaluar la instalación de accesorios que reduzcan dichas presiones y/o modificar la especificación del material.

La situación anteriormente descrita puede ser evidenciada en la siguiente figura.

Imagen 9-2 Comportamiento de las presiones en red de conducción.



TANQUE COPETÓN TANQUE ALMACENAMIENTO PLATEROS

Fuente. (Consultoría.)

Para la verificación de las presiones en los diferentes puntos de la red, se tomaron como referencia las lecturas registradas en los manómetros instalados a lo largo del sistema, las cuales fueron comparadas con las presiones obtenidas en la modelación hidráulica en los mismos puntos. El resultado de dicha comparación fue el siguiente:

Tabla 9-8 Presiones en la red de conducción con manómetro vs simulación hidráulica.

LECTURA DE PRESION REGISTRADA SEGÚN MANOMETRO (PSI)	LECTURA DE PRESION REGISTRADA SEGÚN MODELACION HIDRAULICA (PSI)	COORDENADAS		REGISTRO FOTOGRAFICO
		X	Y	
260	245	4.957.325,20	2.187.556,72	

190	170	4.957.305,66	2.187.194,08	
200	186	4.957.942,18	2.185.878,26	

Fuente. (Consultoría.)

De acuerdo con el análisis hidráulico realizado sobre el comportamiento de presiones en los nodos de la red de conducción, se identificaron puntos críticos con presiones superiores a los rangos óptimos y permitidos por el RDE del material existente. No obstante, luego de la comprobación hidráulica, se recomienda no efectuar la regulación de dichas presiones, dado que por la topografía del terreno

en los tramos altos se requiere mantener estos niveles para garantizar que el flujo llegue de manera adecuada a su destino, en este caso la Planta de Tratamiento de Agua Potable – PTAP Tanque de Almacenamiento Plateros, lo anterior, se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 9-9 Tramos a optimizar en red de conducción.

TRAMO	¿SE REQUIERE CAMBIO?	TUBERIA EXISTENTE	TUBERIA A CAMBIAR	DIAMETRO INTERNO	DIAMETRO PULG	LONGITUD DE CAMBIO
P-1 A P-19	NO	PVC RDE 21	N/A	103.4	4	N/A
P-20 A P-29	SI	PVC RDE 21	RDE 13.5 PVC Tipo 1 UNION PLATINO	97.38	4	358
P-30 A P-90	SI	PVC RDE 21	ACERO CARBONO SCH 40 ó HIERRO DUCTIL.	102.3	4	1676
P-91 A P-155	SI	PVC RDE 21	RDE 13.5 PVC Tipo 1 UNION PLATINO ó HIERRO DUCTIL.	97.38	4	1700
P-92 A P-195	NO	PVC RDE 21	N/A	103.4	4	N/A

Fuente. (Consultoría.)

En concordancia con lo establecido en el artículo 15 de la Resolución 799 de 2021, mediante la cual se modifica el artículo 56 de la Resolución 0330 de 2017, para las redes de aducción - conducción se debe tomar como referencia la presión máxima de trabajo de las tuberías. En ese sentido, se considera viable la sustitución de los tramos de la red de conducción que presentan presiones elevadas y la instalación de tubería óptima que cumpla con las condiciones de presión requeridas para dichos sectores, asegurando así la eficiencia y seguridad en la operación del sistema.

Por otra parte, resulta coherente afirmar y comprobar lo manifestado por el presidente del acueducto y el fontanero respecto de la constante rotura y aplastamiento de la red en las zonas bajas; son evidentes las sobrepresiones en la

red y la falta de capacidad de soporte de la tubería existente al ser de PVC RDE 21.

Adicionalmente, respecto a los accesorios hidráulicos, se recomienda el reemplazo de las válvulas ventosas, tanto por el cumplimiento de su vida útil como por la necesidad de implementar un diámetro óptimo que garantice su adecuado funcionamiento. Durante la revisión se evidenció que algunos de los diámetros instalados a lo largo de la red no cumplían con la relación técnica requerida para el sistema de conducción, lo cual puede afectar la operación y la protección de la tubería.

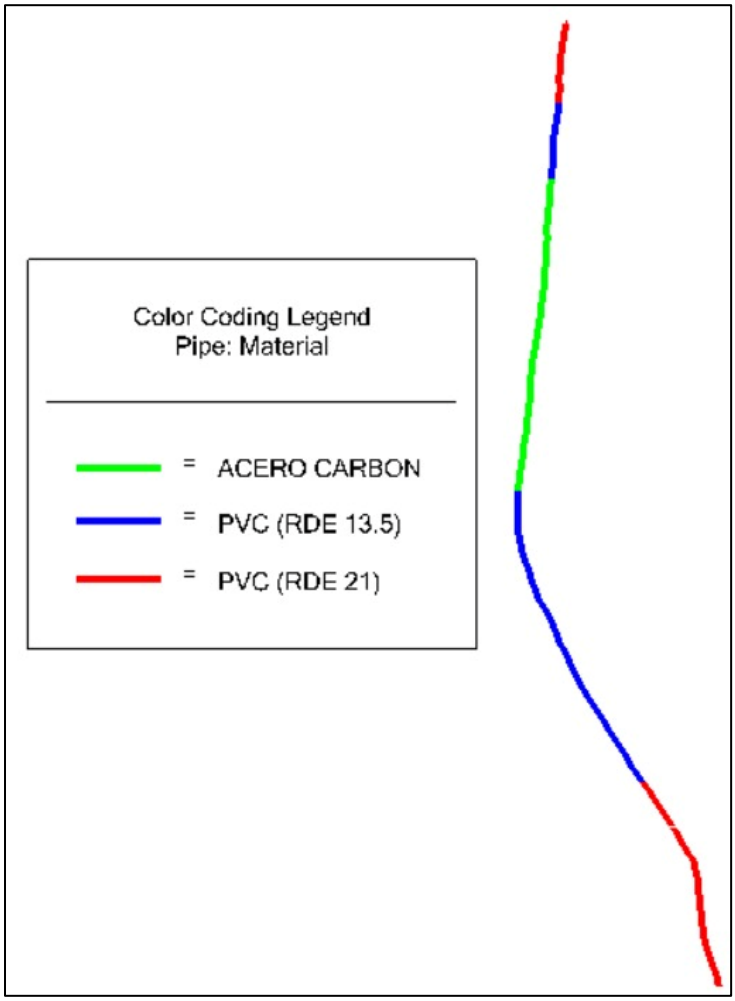
Finalmente, dando cumplimiento al artículo 19 de la Resolución 799 de 2021, que modifica el artículo 73 de la Resolución 0330 de 2017, se plantea la instalación de dos macromedidores, uno a la salida del tanque Copetón y otro al ingreso del tanque Plateros. Este instrumento permitirá realizar un control efectivo del caudal suministrado, facilitando la medición, monitoreo y toma de decisiones para la gestión eficiente del recurso hídrico en el sistema de acueducto.

La optimización de la red de conducción se plantea de la siguiente manera: se propone el reemplazo de la tubería en los puntos críticos donde se presentan presiones elevadas, por una red que cumpla con las características hidráulicas y de resistencia adecuadas a dichas condiciones, tal como se detalla en el cuadro e ilustración siguientes.

Adicionalmente, se identificó que un tramo de la red existente atraviesa directamente por debajo de una vivienda, situación que representa un riesgo e inconveniente técnico. Por lo anterior, se plantea el desvío del trazado de la red hacia un alineamiento que garantice la continuidad del servicio, sin generar interferencias con las edificaciones cercanas.

Por último, en la siguiente figura se observa el planteamiento de la red de conducción de acuerdo con los materiales a implementar luego de la evaluación hidráulica.

Imagen 9-3 Materiales propuestos para la alternativa de optimización de la red de conducción.



Fuente. (Consultoría.)

- **Velocidades en la red de conducción**

La relación de las velocidades obtenidas en los tramos de la red de conducción es la siguiente:

Tabla 9-10 Velocidades en los tramos de la red de conducción.

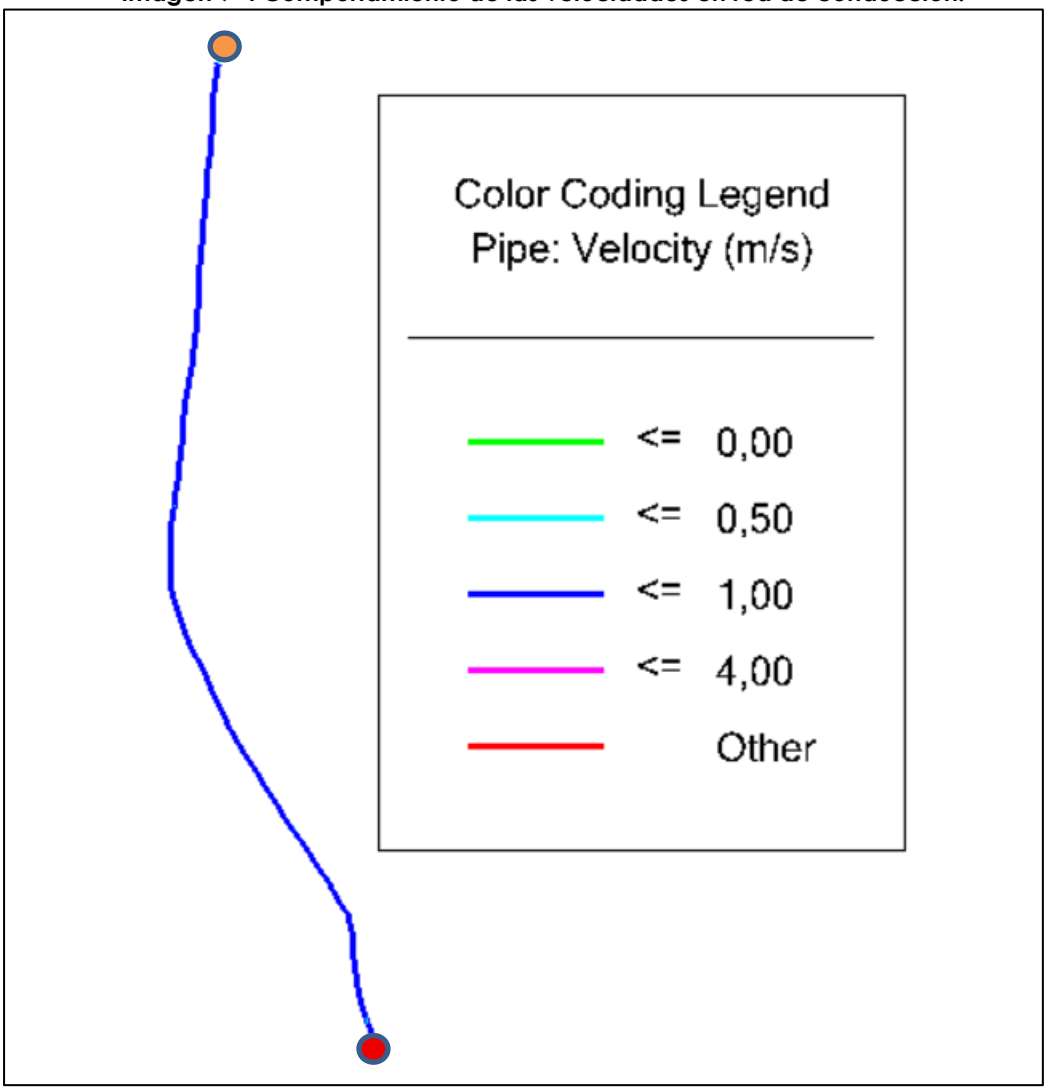
Velocidad (m/s)	Cantidad de tubería	Porcentaje (%)
V < 0	0	0
V < 0.5	0	0
0.5 ≤ V ≤ 3	197	100
V > 3	0	0
Total	197	100

Fuente. (Consultoría.)

La resolución 330/2017 establece en su artículo 56 la velocidad mínima debe ser de 0.5 m/s mientras que la velocidad no deberá sobrepasar los límites de velocidad recomendados para el material del ducto. En este orden de ideas el comportamiento hidráulico se presenta optimo en los tramos en relación con los diámetros de las tuberías.

La situación anteriormente descrita puede ser evidenciada en la siguiente figura.

Imagen 9-4 Comportamiento de las velocidades en red de conducción.



Fuente. (Consultoría.)

La simulación hidráulica evidencia las velocidades con código de colores, se definieron rangos para establecer el comportamiento de la variable, así mismo se puede evidenciar que la red de conducción se encuentra con una velocidad entre 0.5 – 4 m/s.

Por otra parte, dentro de la optimización planteada se proponen los siguientes accesorios.

9.3 ACCESORIOS

La relación de los accesorios se puede ver reflejados en la siguiente tabla:

Tabla 9-11 Accesorios propuestos en red de conducción.

ACCESORIO	DIAMETRO (MM)	COORDENADAS		ELEVACIÓN
		X	Y	
VALVULA DE PRUGA 1	110	4.957.555,59	2.189.857,82	3.332,91
VALVULA DE PRUGA 2	110	4.957.473,54	2.189.004,00	3.098,50
VALVULA DE PRUGA 3	110	4.957.329,36	2.187.557,00	3.110,64
VALVULA DE PRUGA 4	110	4.957.948,76	2.185.879,30	3.123,72
VALVULA DE PRUGA 5	110	4.958.330,01	2.184.896,26	3.253,90

VALVULA DE CHEQUE 1	110	4.957.555,59	2.189.857,82	3.332,91
VALVULA DE CHEQUE 2	110	4.957.473,54	2.189.004,00	3.098,50
VALVULA DE CHEQUE 3	110	4.957.329,36	2.187.557,00	3.110,64
VALVULA DE CHEQUE 4	110	4.957.948,76	2.185.879,30	3.123,72
VALVULA DE CHEQUE 5	110	4.958.330,01	2.184.896,26	3.253,90
VALVULA VENTOSA	63	4.957.457,65	2.188.726,80	3.013,69
VALVULA VENTOSA	63	4.957.305,25	2.187.424,30	3.138,00
VALVULA VENTOSA	63	4.957.310,26	2.187.133,90	3.148,90
VALVULA VENTOSA	63	4.957.424,29	2.186.799,77	3.176,00
VALVULA VENTOSA	63	4.957.579,15	2.186.478,94	3.190,00
VALVULA VENTOSA	63	4.958.025,36	2.185.760,69	3.192,09
VALVULA VENTOSA	63	4.958.119,11	2.185.622,97	3.232,00
VALVULA VENTOSA	63	4.958.229,64	2.185.441,07	3.249,21

VALVULA VENTOSA	63	4.958.286,55	2.185.018,49	3.269,08
VALVULA VENTOSA	63	4.958.331,80	2.184.875,44	3.262,75
VALVULA VENTOSA	63	4.958.343,82	2.184.852,48	3.270,78

Fuente. (Consultoría.)

9.4 AFECTACIÓN PREDIAL EN ALTERNATIVA SELECCIONADA.

En este capitulo se presentan los predios privados que se ven afectados por el cambio y optimización de tramos en la red de conducción, si bien el trazado será el mismo que el que ya se tiene establecido y jurídicamente existe una servidumbre de hecho, se relacionan a continuación los códigos catastrales de los a fin de dar a conocer a la administración municipal y a la junta del acueducto los predios de interés.

Tabla 9-12 Listado de predios afectados por el cambio de tubería en red de conducción.

CODIGO CATASTRAL	COORDENADA		AREA TOTAL DEL PREDIO (m2)
	x	y	
150510000000000010807000000000;	73° 23' 1,485" W	5° 42' 54,920" N	43098,93
;150510000000000010334000000000;	73° 23' 5,490" W	5° 42' 51,092" N	172071,51
;150510000000000010328000000000;	73° 23' 1,873" W	5° 42' 41,016" N	75442,17
;150510000000000010521000000000;	73° 23' 1,627" W	5° 42' 28,756" N	25332,61
;150510000000000010522000000000;	73° 23' 2,747" W	5° 42' 25,035" N	3884,76
;150510000000000010520000000000;	73° 23' 5,820" W	5° 42' 27,495" N	6735,40

;150510000000000010595000000000;	73° 22' 48,354" W	5° 40' 58,474" N	4045,33
;150510000000000010594000000000;	73° 22' 49,112" W	5° 40' 58,057" N	3179,43
;150510000000000010664000000000;	73° 22' 47,144" W	5° 40' 54,782" N	5324,12
;150510000000000010717000000000;	73° 22' 49,844" W	5° 40' 56,984" N	7707,31
;150510000000000010718000000000;	73° 22' 53,428" W	5° 40' 59,893" N	15039,85
;150510000000000010741000000000;	73° 22' 57,488" W	5° 41' 7,595" N	697,02
;150510000000000010032000000000;	73° 22' 45,877" W	5° 40' 45,572" N	24358,35
;150510000000000010036000000000;	73° 22' 42,662" W	5° 40' 48,724" N	6460,12
;150510000000000010627000000000;	73° 22' 36,665" W	5° 40' 39,937" N	26040,78
;150510000000000010628000000000;	73° 22' 32,566" W	5° 40' 42,566" N	56656,20
;150510000000000010674000000000;	73° 23' 5,288" W	5° 42' 29,291" N	5387,87
;150510000000000010675000000000;	73° 23' 3,583" W	5° 42' 32,477" N	14498,45
;150510000000000010325000000000;	73° 23' 6,445" W	5° 42' 35,911" N	36053,03
;150510000000000010134000000000;	73° 23' 16,304" W	5° 42' 21,968" N	124788,42
;150510000000000010523000000000;	73° 23' 7,041" W	5° 42' 18,270" N	93935,27
;150510000000000010724000000000;	73° 23' 10,809" W	5° 41' 54,787" N	5681,01
;150510000000000010723000000000;	73° 23' 9,933" W	5° 41' 54,868" N	6247,22
;150510000000000010722000000000;	73° 23' 9,432" W	5° 41' 55,519" N	8068,30

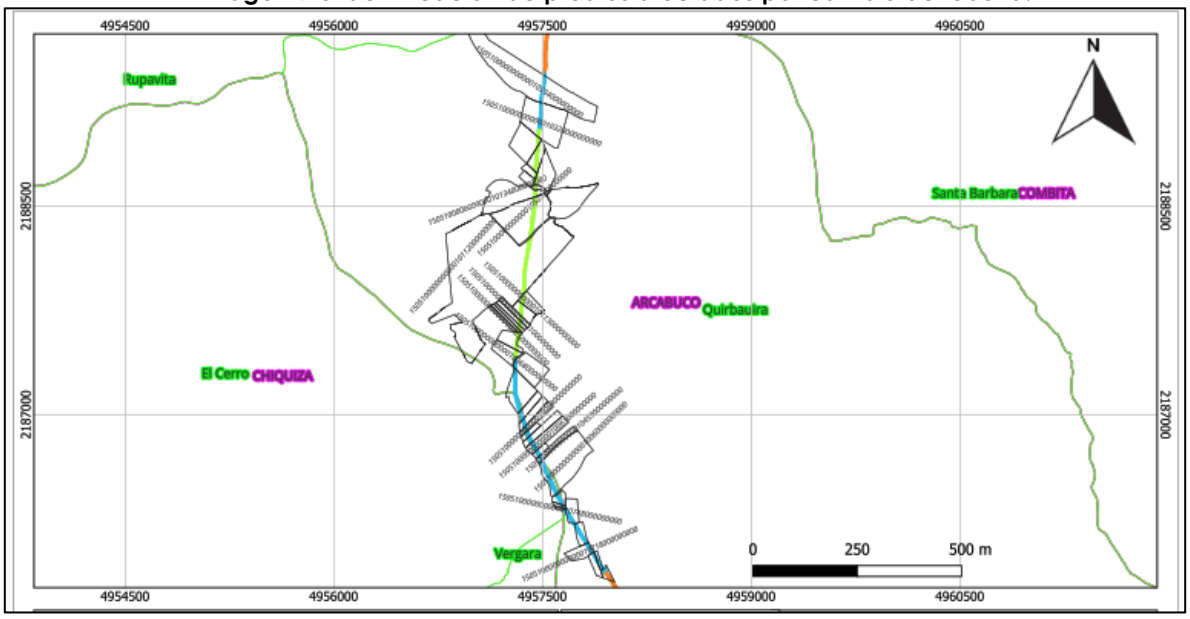
;150510000000000010721000000000;	73° 23' 8,778" W	5° 41' 56,166" N	8050,00
;150510000000000010073000000000;	73° 23' 4,900" W	5° 41' 49,822" N	22756,03
;150510000000000010742000000000;	73° 22' 57,527" W	5° 41' 7,929" N	718,57
;150510000000000010743000000000;	73° 22' 57,704" W	5° 41' 8,303" N	885,73
;150510000000000010744000000000;	73° 22' 57,829" W	5° 41' 8,710" N	906,58
;150510000000000010585000000000;	73° 22' 46,389" W	5° 40' 51,767" N	15082,78
;150510000000000010304000000000;	73° 22' 39,949" W	5° 40' 46,988" N	44188,07
;150510000000000010051000000000;	73° 22' 55,291" W	5° 41' 9,708" N	14972,69
;150510000000000010368000000000;	73° 23' 10,780" W	5° 41' 46,859" N	18729,22
;150510000000000010369000000000;	73° 23' 9,740" W	5° 41' 49,803" N	16063,42
;150510000000000010072000000000;	73° 23' 5,038" W	5° 41' 42,892" N	34076,10
;150510000000000010061000000000;	73° 23' 1,173" W	5° 41' 27,393" N	22791,53
;150510000000000010062000000000;	73° 23' 2,169" W	5° 41' 28,970" N	16904,37
;150510000000000010395000000000;	73° 23' 5,080" W	5° 41' 28,182" N	6145,07
;150510000000000010064000000000;	73° 23' 3,469" W	5° 41' 31,510" N	12836,40
;150510000000000010748000000000;	73° 22' 58,225" W	5° 41' 10,266" N	1156,75
;150510000000000010834000000000;	73° 22' 53,232" W	5° 41' 4,258" N	10685,73
;150510000000000010284000000000;	73° 22' 49,989" W	5° 42' 58,853" N	380699,94

;150510000000000010047000000000;	73° 22' 58,393" W	5° 41' 10,942" N	2052,46
;150510000000000010067000000000;	73° 23' 7,573" W	5° 41' 37,643" N	38034,52
;150510000000000010066000000000;	73° 23' 5,283" W	5° 41' 34,191" N	12337,81
;150510000000000010065000000000;	73° 23' 4,523" W	5° 41' 32,558" N	13765,37
;150510000000000010813000000000;	73° 23' 2,684" W	5° 41' 23,731" N	5378,76
;150510000000000010459000000000;	73° 22' 59,065" W	5° 41' 25,311" N	12039,26
;150510000000000010060000000000;	73° 22' 57,079" W	5° 41' 21,203" N	91061,61
;150510000000000010747000000000;	73° 22' 58,048" W	5° 41' 9,831" N	828,70
;150510000000000010746000000000;	73° 22' 57,974" W	5° 41' 9,479" N	792,66
;150510000000000010745000000000;	73° 22' 57,939" W	5° 41' 9,112" N	897,66
;150510000000000010740000000000;	73° 22' 57,417" W	5° 41' 7,247" N	788,34
;150510000000000010739000000000;	73° 22' 57,552" W	5° 41' 6,867" N	852,96
;150510000000000010048000000000;	73° 22' 58,154" W	5° 41' 12,558" N	6969,31
;150510000000000010050000000000;	73° 22' 56,747" W	5° 41' 3,373" N	30153,86
;150510000000000010112000000000;	73° 23' 13,857" W	5° 42' 5,631" N	463255,01
;150510000000000010113000000000;	73° 23' 4,974" W	5° 41' 58,236" N	13813,49
;150510000000000010866000000000;	73° 23' 6,506" W	5° 41' 56,249" N	12772,06
;150510000000000010114000000000;	73° 23' 3,129" W	5° 41' 59,697" N	13168,34

Fuente. (Consultoría.)

De acuerdo con lo anterior, para la optimización y cambio de materiales en la red de conducción, se verán afectados los 50 predios que se describen en la anterior tabla, en la siguiente figura se pueden divisar los predios afectados.

Imagen 9-5 Identificación de predios afectados por cambio de tubería.



Fuente. (Consultoría.)

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 SISTEMA DE BOMBEO Y RED DE IMPULSIÓN

- Una vez evaluado el sistema de bombeo existente y la red de impulsión, se pudo identificar que la bomba actual al tener una vida útil de más de 15 años y tener una transmisión por correas mediante poleas, tiene un consumo mayor con respecto a otros sistemas. Lo anterior, ocasiona el aumento en los recibos por servicio de energía por lo que dentro de este documento se realiza un análisis técnico eligiendo el mejor equipo de bombeo relación costo – beneficio; luego de este análisis el equipo seleccionado corresponde a la bomba SP 32-36 marca GRUNDFOS.
- Teniendo en cuenta que la bomba seleccionada corresponde a una bomba sumergible tipo lapicero, se deberá construir una estructura de almacenamiento cuyas dimensiones son 7 m x 3 m x 2 m, lo anterior, teniendo en cuenta que en el tanque de captación existente no cabe la bomba ni verticalmente ni horizontalmente.
- Respecto a la línea de impulsión existente de 4" ACERO AL CARBÓN, se verificó su funcionamiento y se calculo la variable de diámetro más económico dando como resultado que es un diámetro de 4", por lo anterior, se concluye que la línea de impulsión funciona adecuadamente, sin embargo, se recomienda realizar mantenimientos periódicos a la red teniendo en cuenta su material y la exposición a problemas por corrosión y abrasión.

10.2 RED DE CONDUCCIÓN ENTRE TANQUE COPETÓN Y TANQUE PLATEROS

- Una vez realizada la evaluación hidráulica de la red de conducción se pudo identificar que toda la red está compuesta por tubería PVC de 4" RDE 21, se identificaron zonas con presiones superiores a los 300 m.c.a.; dichas presiones

no son soportadas por este RDE por lo que en la alternativa se propone el cambio de material en estas zonas.

- En la red de conducción, se proyecta el cambio de 3.734 ml de tubería distribuidos en 1676 ml de tubería de 4" en HD y 2058 ml de tubería RDE 13.5 PVC.
- Se proyecta cambio de trazado en el sector donde se construyó una casa por encima de la red con el fin de evitar esta inferencia.

10.3 ACCESORIOS EN RED DE CONDUCCIÓN

- A lo largo de la red de conducción se proyectan los siguientes accesorios, cada uno de estos fue propuesto con caja para su protección y seguridad.

ACCESORIO	DIAMETRO (MM)	COORDENADAS		ELEVACIÓN
		X	Y	
VALVULA DE PRUGA 1	110	4.957.555,59	2.189.857,82	3.332,91
VALVULA DE PRUGA 2	110	4.957.473,54	2.189.004,00	3.098,50
VALVULA DE PRUGA 3	110	4.957.329,36	2.187.557,00	3.110,64
VALVULA DE PRUGA 4	110	4.957.948,76	2.185.879,30	3.123,72

VALVULA DE PRUGA 5	110	4.958.330,01	2.184.896,26	3.253,90
VALVULA DE CHEQUE 1	110	4.957.555,59	2.189.857,82	3.332,91
VALVULA DE CHEQUE 2	110	4.957.473,54	2.189.004,00	3.098,50
VALVULA DE CHEQUE 3	110	4.957.329,36	2.187.557,00	3.110,64
VALVULA DE CHEQUE 4	110	4.957.948,76	2.185.879,30	3.123,72
VALVULA DE CHEQUE 5	110	4.958.330,01	2.184.896,26	3.253,90
VALVULA VENTOSA	63	4.957.457,65	2.188.726,80	3.013,69
VALVULA VENTOSA	63	4.957.305,25	2.187.424,30	3.138,00
VALVULA VENTOSA	63	4.957.310,26	2.187.133,90	3.148,90
VALVULA VENTOSA	63	4.957.424,29	2.186.799,77	3.176,00
VALVULA VENTOSA	63	4.957.579,15	2.186.478,94	3.190,00
VALVULA VENTOSA	63	4.958.025,36	2.185.760,69	3.192,09
VALVULA VENTOSA	63	4.958.119,11	2.185.622,97	3.232,00

VALVULA VENTOSA	63	4.958.229,64	2.185.441,07	3.249,21
VALVULA VENTOSA	63	4.958.286,55	2.185.018,49	3.269,08
VALVULA VENTOSA	63	4.958.331,80	2.184.875,44	3.262,75
VALVULA VENTOSA	63	4.958.343,82	2.184.852,48	3.270,78

- Desinfectar tanques y redes antes de la puesta en servicio, conforme a lo estipulado en el art. 65 de la Res. 799/2021 y normas AWWA aplicables.

11. BIBLIOGRAFÍA

Aires, U. d. (2011). *MODELACIÓN HIDRAULICA, CATEDRA INSTITUTO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL FACULTAD DE INGENIERIA- ESPECIALIZACIÓN*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.

CAMPOS. (2016). *HIDRAULICA E HIDROLOGÍA PARA INGENIERIÍA*. Universidad de la amistad de los pueblos de Rusia.

Consultoría. (s.f.).

Arcabuco, octubre de 2025.

MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Señores:
ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARCABUCO

YO CAMILO ANDRÉS LÓPEZ AMAYA identificado (a) con CC Nº 1052398608 de la ciudad de Duitama (Boyacá) y matricula profesional 15237-294117 BYC, certifico que he realizado el diseño hidráulico del contrato cuyo objeto es "**REALIZAR LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA CAPTACIÓN Y SISTEMA DE BOMBEO, RED DE IMPULSIÓN Y RED DE CONDUCCIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA VEREDA DE QUIRVAQUIRA DEL MUNICIPIO DE ARCABUCO, CONFORME AL INDICADOR DE PRODUCTO "ACUEDUCTOS OPTIMIZADOS" DEL PLAN DE DESARROLLO "POR LA DIGNIDAD DE ARCABUCO 2024-2027.**", a construirse en el Municipio de Arcabuco del Departamento de Boyacá, de acuerdo con los requisitos técnicos vigentes, establecidos en la Resolución 330 de 2017 y su modificación la resolución 799 de 2021 cuyos resultados se encuentran consignados en las memorias de cálculo y los planos hidráulicos que anexo debidamente firmados. Certifico que me hago responsable por los diseños presentados siempre y cuando estos no sean modificados sin autorización, y se lleve a cabo la construcción siguiendo las recomendaciones consignadas en los respectivos estudios de suelos entregados como insumo, diseños hidráulicos, estructurales,

especificaciones técnicas y demás documentos técnicos correspondientes como planos de detalle, memorias de cantidades, presupuesto e informes técnicos.

Para los fines pertinentes, anexo copia de mi Tarjeta Profesional y vigencia de la misma.

Atentamente;



_____

CAMILO ANDRÉS LÓPEZ AMAYA
INGENIERO SANITARIO
CONSULTOR
MP: 15237-294117 BYC