MEMORIA DE CÁLCULO
SISTEMA DE SUMINISTRO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA
INSTITUTO EDUCATIVO SANTA ISABEL DE CURUMANÍ

NTC 1500:2023 / RAS 2000 Título B / Método de Hunter

Campo	Descripción
Proyecto	MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA EN DISTINTOS MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DEL CESAR.
Municipio	Curumaní, Cesar
Documento N°	01CUR
Revisión	0A
Fecha	25 de junio de 2026
Elaboró	Juan José Oñate Arzuaga
M.P.	091037 – 0661809 CND
FIRMA	**ING. JUAN JOSE OÑATE ARZUAGA** **M.P. 091037 – 0661809 CND** **Especialista en Gerencia de Construcciones**

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN 4
2. OBJETO 4
3. NORMATIVIDAD DE REFERENCIA 5
4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA 5
4.1. Esquema general 5
4.2. Presión disponible por gravedad 5
4.3. Presión disponible por gravedad 6
5. PARÁMETROS DE DISEÑO 6
5.1. Consideraciones generales 6
5.2. Parámetros de dotación (RAS 2000, Tabla B.2.8) 7
6. UNIDADES DE ABASTO — MÉTODO DE HUNTER 9
6.1. Inventario de aparatos (NTC 1500:2023, Tabla 1A — Tipo Tanque) 9
6.2. Caudal de diseño por interpolación Hunter 10
7. LÍNEA DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA 11
7.1. Generalidades 11
7.2. Configuración de la alimentación 11
7.3. Criterio de diseño hidráulico 12
8. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO 12
8.1. Configuración del almacenamiento 12
8.2. Justificación del almacenamiento 13
8.3. Condición hidráulica de diseño 13
9. DISEÑO HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN 14
9.1. Hipótesis de cálculo 14
9.2. Ecuación de Hazen-Williams 15
9.3. Velocidad del flujo 15
10. CÁLCULO HIDRÁULICO DE LA RUTA CRÍTICA 16
10.1. Definición de la ruta crítica 16
10.2. Cálculo de pérdidas por tramo 16
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 18

Tablas

Tabla 4-1. Presión disponible por gravedad.....5
Tabla 5-1. Parámetros generales de diseño.....7
Tabla 5-2, Cálculo de la dotación y demanda diaria. 8
Tabla 5-3. Distribución de tanques elevados por zona.....8
Tabla 6-1. Inventario de aparatos sanitarios y unidades de abasto.....10
Tabla 6-2. Caudal máximo probable según método de Hunter 10
Tabla 6-3. Caudal máximo probable.....11
Tabla 8-1. Distribución de tanques elevados por zona.....12
Tabla 9-1. Parametros ecuación Hazen-Williams 15
Tabla 10-1. Ruta crítica grupo de tanques en los baños de las aulas. 16

Ilustraciones

Ilustración 1. Ubicación de grupo de tanques.....9
Ilustración 2. Ruta crítica grupo de tanques en los baños de las aulas. 17

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde a la memoria de cálculo hidráulico del sistema de suministro y distribución de agua del Instituto Educativo Santa Isabel de Curumaní, ubicado en el municipio de Curumaní, departamento del Cesar.

La memoria tiene como finalidad sustentar técnicamente el diseño del sistema hidráulico interior destinado al abastecimiento de los aparatos sanitarios de la institución educativa, verificando que las condiciones de caudal, presión, velocidades y pérdidas de carga cumplen con los criterios establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 1500:2023 y en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, Título B.

A diferencia de un sistema convencional presurizado mediante equipos de bombeo, el proyecto utiliza un esquema de abastecimiento completamente por gravedad. El agua es conducida desde la red existente hasta seis tanques elevados de almacenamiento, desde donde se distribuye hacia los diferentes puntos de consumo aprovechando exclusivamente la energía potencial generada por la diferencia de nivel entre los tanques y los aparatos sanitarios.

Esta solución permite eliminar la necesidad de equipos electromecánicos para la presurización del sistema, reduciendo significativamente los costos de operación, mantenimiento y consumo energético, además de incrementar la confiabilidad del abastecimiento.

La presente memoria desarrolla de forma detallada los criterios de diseño, los parámetros adoptados, el cálculo de la demanda, la determinación del caudal probable mediante el Método de Hunter, la selección de la acometida y del medidor, el análisis hidráulico de la red de distribución, la evaluación de las pérdidas de carga mediante la ecuación de Hazen-Williams y la verificación de la presión residual disponible en el aparato hidráulicamente más desfavorable.

2. OBJETO

El objeto de la presente memoria es desarrollar el diseño hidráulico del sistema de suministro y distribución de agua del Instituto Educativo Santa Isabel de Curumaní, verificando que la infraestructura proyectada garantiza el suministro de agua requerido por los aparatos sanitarios mediante un sistema de distribución por gravedad, sin la utilización de bombas o sistemas hidroneumáticos.

El documento tiene como propósito demostrar que los diámetros de tubería, el almacenamiento proyectado, la acometida, el medidor y la red de distribución satisfacen las condiciones de funcionamiento exigidas por la NTC 1500:2023 y el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, Título B, garantizando condiciones adecuadas de presión, velocidad y continuidad del servicio.

3. NORMATIVIDAD DE REFERENCIA

El diseño se fundamenta en los siguientes documentos normativos:

- NTC 1500:2023 — Código Colombiano de Fontanería. Unidades de abasto (UA), caudales de diseño por el Método de Hunter, velocidades admisibles y diámetros de tuberías.
- RAS 2000, Título B — Sistemas de recolección, evacuación y distribución. Dotaciones según uso (Tablas B.2.3 a B.2.10). Artículos 141 y 145.
- PAVCO — Catálogo de tuberías PVC-P para instalaciones a presión. Coeficiente de Hazen-Williams C = 150.
- Hazen – Williams.
- Método de Hunter.

4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

4.1. Esquema general

El sistema se estructura de la siguiente manera:

- Punto de conexión: tubería de 3" de la red pública — agua no potable (no tratada).
- Acometida y válvula de control: tubería de 2".
- Almacenamiento: 6 tanques elevados de 1.000 L cada uno, en 2 grupos de 3 unidades (3.000 L/zona), instalados a 4,00 m sobre nivel de piso terminado.
- Zona 1: baterías sanitarias de las aulas.
- Zona 2: baños y lavaplatos del bloque Biblioteca / Laboratorio / Informática.
- Distribución: red de tuberías PVC de presión operando únicamente por presión de gravedad.

4.2. Presión disponible por gravedad

Con los tanques a 4,00 m sobre el nivel de los aparatos sanitarios, la presión estática disponible es:

Parámetro	Valor	Unidad
Altura de los tanques elevados	4,00	m
Presión estática disponible	4,00	mca
Presión estática en psi	5,69	psi
Presión estática en kgf/cm²	0,40	kgf/cm²

Tabla 4-1. Presión disponible por gravedad.

4.3. Presión disponible por gravedad

El funcionamiento hidráulico del sistema se fundamenta en el principio de conservación de la energía.

La energía disponible para la circulación del agua corresponde a la carga hidráulica generada por la diferencia de nivel existente entre el nivel del agua almacenada en los tanques elevados y el aparato sanitario más desfavorable.

Durante el recorrido del agua por la red se presentan pérdidas de energía ocasionadas por la fricción entre el flujo y las paredes internas de la tubería, así como pérdidas localizadas originadas por accesorios tales como codos, tees, válvulas y reducciones.

La presión disponible en cualquier punto de la red se obtiene descontando estas pérdidas de la carga inicial disponible en el tanque, conforme a la ecuación general del balance de energía:

$$H_f = H_i - \sum h_f$$

donde:

- H_i: carga disponible al inicio del tramo (mca).
- H_f: carga disponible al final del tramo (mca).
- h_f: pérdidas de carga acumuladas por fricción y accesorios (m).

Este procedimiento permite verificar la presión residual disponible en cada punto de la red y comprobar que el aparato hidráulicamente más desfavorable mantiene condiciones adecuadas de funcionamiento.

5. PARÁMETROS DE DISEÑO

5.1. Consideraciones generales

El diseño hidráulico del sistema de suministro de agua se desarrolló considerando las condiciones reales de operación de la institución educativa, las características del sistema de abastecimiento existente y los lineamientos establecidos en la NTC 1500:2023 y el RAS – Título B.

La infraestructura no dispone de equipos de bombeo ni sistemas hidroneumáticos; en consecuencia, toda la energía disponible para el funcionamiento de la red proviene de la diferencia de nivel entre los tanques elevados y los aparatos sanitarios. Por esta razón, el diseño hidráulico se orientó a minimizar las pérdidas de carga mediante una adecuada selección de diámetros y una configuración eficiente de la red de distribución.

Los parámetros adoptados para el diseño se presentan en la siguiente tabla

Parámetro	Valor
Sistema de abastecimiento	Por gravedad
Fuente de agua	Red existente
Diámetro de conexión	3"
Tipo de agua	No potable
Material de tubería	PVC Presión
Coeficiente Hazen-Williams	150
Número de tanques	6
Capacidad por tanque	1.000 L
Capacidad total	6.000 L
Altura de almacenamiento	4,00 m
Método de cálculo	Hunter
Método pérdidas	Hazen-Williams

Tabla 5-1. Parámetros generales de diseño

5.2. Parámetros de dotación (RAS 2000, Tabla B.2.8)

Por tratarse de un establecimiento de educación elemental, la dotación se toma de la Tabla B.2.8 del RAS 2000, correspondiente al uso escolar. El nivel de complejidad es Medio alto y el clima es Cálido.

De acuerdo con la clasificación del proyecto, la institución corresponde a una edificación destinada a educación básica, para la cual se adopta una dotación de:

$$D = 20 \frac{L}{Alumno \cdot Jornada}$$

La población de diseño corresponde a:

$$N = 342\ alumnos$$

Por tanto, el consumo diario es:

$$V_d = N \times D$$

Sustituyendo:

$$V_d = 342 \times 20$$
$$V_d = 6840\ L/día$$

Equivalentemente,

$$V_d = 6.84\ m^3/día$$

Parámetro	Valor	Unidad	Referencia
Tipo de uso	Escolar	—	Datos del proyecto
Tabla RAS aplicada	B.2.8	—	RAS 2000 Título B
Tipo de instalación	Educación elemental	—	Tabla B.2.8
Dotación unitaria	20	l/alumno/jornada	Tabla B.2.8
Número de alumnos (N)	342	und	Proyecto
Consumo diario total (Vd)	**6.840**	**litros/día**	**Vd = N × dotación**
Consumo diario total (Vd)	**6,84**	**m³/día**	

Tabla 5-2, Cálculo de la dotación y demanda diaria.

El volumen calculado representa la demanda diaria esperada de la institución durante condiciones normales de operación y constituye la base para el dimensionamiento de la acometida y del sistema de almacenamiento.

5.3. Volumen de almacenamiento instalado

El proyecto dispone de seis tanques elevados con capacidad individual de 1.000 litros.

La capacidad total instalada es:

$$V_T = 6 \times 1000$$
$$V_T = 6000\ L$$

El porcentaje de almacenamiento respecto a la demanda diaria es:

$$\%V = \frac{6000}{6840} \times 100$$
$$\boxed{\%V = 87.7\%}$$

Zona	Tanques	Capacidad/tanque	Capacidad total	Cobertura (Vd)
Zona 1 — Baterías sanitarias — Aulas	3	1.000 L	3.000 L	43,9 %
Zona 2 — Bloque Bib./Lab./Inf.	3	1.000 L	3.000 L	43,9 %
TOTAL	**6**	**—**	**6.000 L**	**87,7 %**

Tabla 5-3. Distribución de tanques elevados por zona.

Aunque la capacidad instalada es inferior al consumo diario total, el sistema se encuentra alimentado permanentemente desde la red existente, por lo que los tanques operan como almacenamiento regulador y no como reserva para veinticuatro horas de autonomía. Bajo estas condiciones, el volumen disponible resulta suficiente para garantizar la continuidad del servicio.

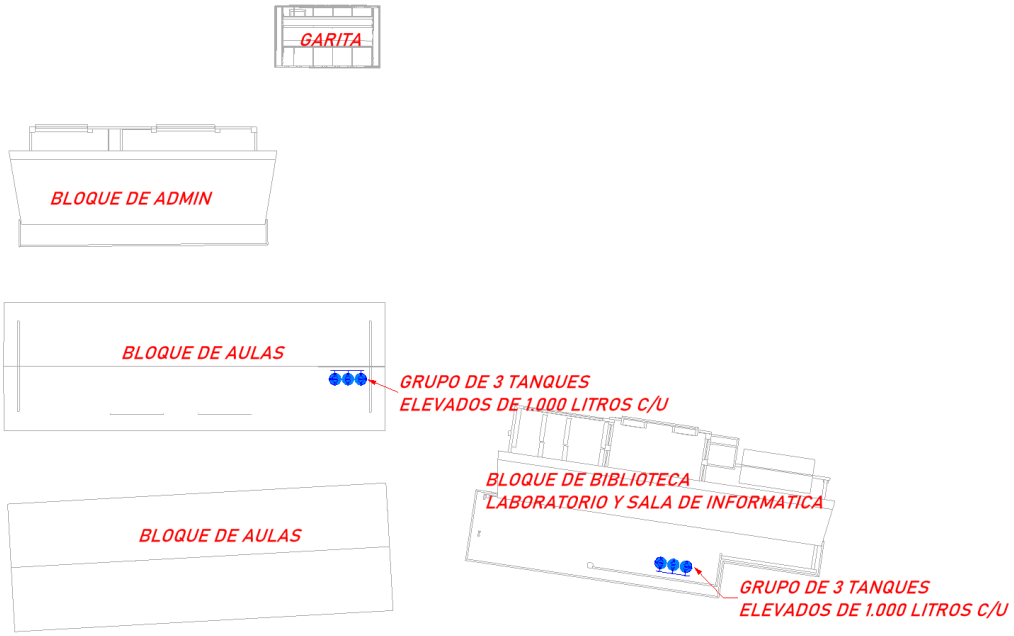

Ilustración 1. Ubicación de grupo de tanques.

6. UNIDADES DE ABASTO — MÉTODO DE HUNTER

6.1. Inventario de aparatos (NTC 1500:2023, Tabla 1A — Tipo Tanque)

El caudal máximo probable de la instalación no corresponde a la suma de los caudales máximos individuales de todos los aparatos sanitarios, debido a que resulta estadísticamente improbable que todos operen simultáneamente.

Con el fin de representar este comportamiento se empleó el Método de Hunter, adoptado por la NTC 1500:2023 para el dimensionamiento de redes interiores de distribución.

Este método asigna a cada aparato sanitario un número de Unidades de Abasto (UA), las cuales representan la probabilidad de utilización simultánea.

Aparato sanitario	UA unit. (tanque)	Cantidad	Total UA
Ducha	2	0	0
Inodoro Fluxómetro	6	0	0
Lavamanos	1	20	20
Orinal	2	2	4
Inodoro Tanque	3	20	60
Lavaplatos	2	13	26
Lavadero / Aseo	1	1	1
TOTAL UNIDADES DE ABASTO (UA)	—	—	**111**

Tabla 6-1. Inventario de aparatos sanitarios y unidades de abasto.

CAUDAL MAXIMO PROBABLE SEGÚN MÉTODO DE *HUNTER*											
CAUDAL		UNIDADES DE APARATO		CAUDAL		UNIDADES DE APARATO		CAUDAL		UNIDADES DE APARATO	
GPM	LPS	TANQUE	FLUXOMETRO	GPM	LPS	TANQUE	FLUXOMETRO	GPM	LPS	TANQUE	FLUXOMETRO
1	0.06	0	-	45	2.84	107	37	145	9.15	611	521
2	0.13	1	-	46	2.90	111	39	150	9.46	638	559
3	0.19	3	-	47	2.96	115	42	155	9.78	665	596
4	0.25	4	-	48	3.03	119	44	160	10.09	692	631
5	0.32	6	-	49	3.09	123	46	165	10.41	719	666
6	0.38	7	-	50	3.15	127	48	170	10.72	748	700
7	0.44	8	-	51	3.22	130	50	175	11.04	778	739
8	0.50	10	-	52	3.28	135	52	180	11.36	809	775
9	0.57	12	-	53	3.34	141	54	185	11.67	840	811
10	0.63	13	-	54	3.41	146	57	190	11.99	874	850
11	0.69	15	-	55	3.47	151	60	200	12.62	945	931
12	0.76	16	-	56	3.53	155	63	210	13.25	1018	1009
13	0.82	18	-	57	3.60	160	66	220	13.88	1091	1091
14	0.88	20	-	58	3.66	165	69	230	14.51	1173	1173
15	0.95	21	-	59	3.72	170	73	240	15.14	1254	1254
16	1.01	23	-	60	3.79	175	76	250	15.77	1335	1335
17	1.07	24	-	62	3.91	185	82	260	16.40	1418	1418
18	1.14	26	-	64	4.04	195	88	270	17.03	1500	1500
19	1.20	28	-	66	4.16	205	95	280	17.66	1583	1583
20	1.26	30	-	68	4.29	215	102	290	18.29	1668	1668
21	1.32	32	-	70	4.42	225	108	300	18.93	1755	1755
25	1.58	42	8	78	4.92	264	140	340	21.45	2110	2110
26	1.64	44	9	80	5.05	275	148	350	22.08	2204	2204
27	1.70	46	10	82	5.17	284	158	360	22.71	2298	2298
28	1.77	49	11	84	5.30	294	168	370	23.34	2388	2388
29	1.83	51	12	86	5.43	305	176	380	23.97	2480	2480
30	1.89	54	13	88	5.55	315	186	390	24.60	2575	2575
31	1.96	56	14	90	5.68	326	195	400	25.23	2670	2670
32	2.02	58	15	92	5.80	337	205	410	25.86	2765	2765
33	2.08	60	16	94	5.93	348	214	420	26.50	2862	2862
34	2.14	63	18	96	6.06	359	223	430	27.13	2960	2960
35	2.21	66	20	98	6.18	370	234	440	27.76	3060	3060
36	2.27	69	21	100	6.31	380	245	450	28.39	6150	6150
37	2.33	74	23	105	6.62	406	270	500	31.54	6320	6320
38	2.40	78	25	110	6.94	431	295	550	34.70	4070	4070
39	2.46	83	26	115	7.25	455	329	600	37.85	4480	4480
40	2.52	86	28	120	7.57	479	365	700	44.16	5380	5380
41	2.59	90	30	125	7.89	506	396	800	50.47	6280	6280
42	2.65	95	31	130	8.20	533	430	900	56.78	7280	7280
43	2.71	99	33	135	8.52	559	460	1000	63.08	8300	8300
44	2.78	103	35	140	8.83	585	490	1075	67.81	9000	9000

Tabla 6-2. Caudal máximo probable según método de Hunter

6.2. Caudal de diseño por interpolación Hunter

A partir de las 111 Unidades de Abasto y empleando la curva de Hunter para aparatos alimentados mediante tanque se obtiene:

$$Q_H = 2.902\ L/s$$

Equivalente a:

$$Q_H = 10.447\ m^3/h$$

Este caudal constituye el caudal de diseño para el dimensionamiento del tramo principal de la red.

Parámetro	Valor	Unidad
Total UA del proyecto	111	UA
Tipo de sanitario	Tanque	—
Caudal de diseño (Q_Hunter)	**2,902**	**L/s**
Caudal de diseño (Q_Hunter)	**10,447**	**m³/h**
Caudal de diseño (Q_Hunter)	**45,99**	**GPM**

Tabla 6-3. Caudal máximo probable

7. LÍNEA DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA

7.1. Generalidades

El abastecimiento de agua para el Instituto Educativo Santa Isabel de Curumaní se realiza mediante una conducción existente de **3 pulgadas (3")**, la cual deriva el caudal desde la red de abastecimiento local hacia el sistema de almacenamiento del proyecto.

A diferencia de los sistemas convencionales conectados a redes de acueducto urbano, el presente proyecto **no dispone de acometida domiciliaria con micromedición**, dado que el suministro proviene de una red institucional que opera por gravedad y cuya administración no contempla el control individual del consumo mediante medidores volumétricos.

En consecuencia, la conducción de 3" constituye la línea principal de alimentación del sistema y tiene como función transportar el agua hacia los dos grupos de tanques elevados, desde donde posteriormente se distribuye por gravedad a los diferentes sectores de la institución.

7.2. Configuración de la alimentación

La línea principal de alimentación se deriva de la conducción existente de 3" y abastece dos sistemas independientes de almacenamiento:

- **Grupo No. 1:** tres tanques elevados con capacidad total de 3.000 litros, destinados al abastecimiento de las baterías sanitarias de las aulas.
- **Grupo No. 2:** tres tanques elevados con capacidad total de 3.000 litros, destinados al abastecimiento de los servicios sanitarios y lavaplatos del bloque de biblioteca, laboratorio e informática.

La división del almacenamiento permite sectorizar hidráulicamente el proyecto, disminuyendo las longitudes efectivas de distribución, reduciendo las pérdidas de carga y facilitando las labores de operación y mantenimiento.

7.3. Criterio de diseño hidráulico

Para el análisis hidráulico de la red interior se tomó como condición de diseño el **Grupo No. 1**, correspondiente a las baterías sanitarias de las aulas, debido a que representa el sector con mayor demanda de agua y la ruta hidráulicamente más desfavorable del proyecto.

Este grupo abastece:

- Trece (13) sanitarios con tanque.
- Trece (13) lavamanos.

La selección de este sector como condición crítica garantiza que, si la presión residual es suficiente para abastecer adecuadamente esta red, los demás sectores del proyecto dispondrán de condiciones hidráulicas iguales o más favorables.

En consecuencia, todas las verificaciones de presión, velocidades y pérdidas de carga desarrolladas en la presente memoria corresponden a la ruta crítica del Grupo No. 1.

8. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

8.1. Configuración del almacenamiento

El almacenamiento del proyecto está conformado por seis tanques elevados de polietileno con capacidad individual de 1.000 litros, distribuidos en dos grupos independientes de tres unidades cada uno.

La capacidad instalada es la siguiente:

Zona	Tanques	Capacidad/tanque	Capacidad total	Cobertura (Vd)
Zona 1 — Baterías sanitarias — Aulas	3	1.000 L	3.000 L	43,9 %
Zona 2 — Bloque Bib./Lab./Inf.	3	1.000 L	3.000 L	43,9 %
TOTAL	**6**	**—**	**6.000 L**	**87,7 %**

Tabla 8-1. Distribución de tanques elevados por zona.

La disposición de los tanques elevados permite generar una carga hidráulica inicial aproximada de **4,00 mca**, suficiente para abastecer la red de distribución mediante gravedad, sin necesidad de equipos de bombeo.

8.2. Justificación del almacenamiento

El sistema de almacenamiento cumple una doble función dentro de la instalación hidráulica. En primer lugar, actúa como elemento regulador entre la red de abastecimiento y la red de distribución interna, amortiguando las variaciones de caudal y permitiendo mantener un suministro continuo hacia los diferentes puntos de consumo. En segundo lugar, proporciona la carga hidráulica necesaria para que el agua circule por gravedad a través de la red, eliminando la necesidad de sistemas de presurización.

La utilización de dos grupos independientes de tanques ofrece ventajas adicionales desde el punto de vista operativo, ya que permite sectorizar el abastecimiento, disminuir las pérdidas de carga, reducir la longitud efectiva de las tuberías de distribución y facilitar las labores de mantenimiento sin afectar el funcionamiento de la totalidad de la institución.

8.3. Condición hidráulica de diseño

La diferencia de nivel entre el nivel mínimo de operación de los tanques elevados y el aparato sanitario hidráulicamente más desfavorable es de aproximadamente 4,00 metros, lo que genera una presión estática inicial de:

$$H_0 = 4{,}00 \text{ mca}$$

Esta carga constituye la energía disponible para el funcionamiento del sistema de distribución.

La presión residual en cada punto de la red se determina mediante el balance de energía:

$$H_f = H_0 - \sum h_f$$

donde:

- H_0: carga disponible en el tanque elevado (mca).
- H_f: carga residual en el punto analizado (mca).
- $\sum h_f$: pérdidas de carga acumuladas por fricción y accesorios (m).

La aplicación de este procedimiento permite verificar que la presión residual disponible en el aparato hidráulicamente más desfavorable es suficiente para garantizar el funcionamiento de todos los aparatos sanitarios abastecidos por el sistema.

9. DISEÑO HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

La red de distribución fue diseñada para garantizar el suministro continuo de agua hacia todos los aparatos sanitarios mediante un sistema de circulación completamente gravitacional.

El análisis hidráulico considera la condición de mayor demanda del proyecto, correspondiente al grupo de tanques que abastece las baterías sanitarias de las aulas, el cual suministra agua a trece (13) sanitarios con tanque y trece (13) lavamanos.

La evaluación se desarrolló sobre la ruta hidráulicamente más desfavorable, verificando que las pérdidas de carga ocasionadas por la conducción del agua no reduzcan la presión disponible por debajo del valor mínimo requerido para el adecuado funcionamiento de los aparatos sanitarios.

Para el cálculo de pérdidas de carga se utilizó la ecuación de Hazen-Williams, incorporando tanto las longitudes reales de tubería como las longitudes equivalentes correspondientes a los accesorios instalados en la red.

9.1. Hipótesis de cálculo

Para el desarrollo de la memoria se adoptaron las siguientes consideraciones:

- Flujo permanente.
- Agua a temperatura ambiente.
- Tuberías de PVC Presión
- Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams:

$$C = 150$$

- Tuberías completamente llenas.
- Flujo a presión.
- Longitudes equivalentes incluidas dentro de la longitud total de cálculo.

La presión disponible corresponde únicamente a la diferencia de nivel existente entre el nivel de agua de los tanques elevados y el aparato hidráulicamente más desfavorable.

No se considera aporte de presión mediante bombas ni equipos de presurización.

9.2. Ecuación de Hazen-Williams

Las pérdidas continuas por fricción fueron determinadas mediante la ecuación de Hazen-Williams para flujo permanente en tuberías a presión.

$$h_f = 10.67 \frac{LQ^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.871}}$$

Parámetro	Descripción	Unidad
(h_f)	Pérdida de carga	m
(L)	Longitud total	m
(Q)	Caudal	m³/s
(C)	Coeficiente Hazen-Williams	—
(D)	Diámetro interno	m

Tabla 9-1. Parametros ecuación Hazen-Williams

Las pérdidas localizadas ocasionadas por accesorios fueron incorporadas mediante el método de longitudes equivalentes, por lo que cada tramo fue analizado utilizando la longitud hidráulica total.

9.3. Velocidad del flujo

La velocidad máxima de diseño debe ser de 2,00 m/s para tubería de diámetro inferior a 75 mm; para diámetros de 75 mm o mayores, la velocidad máxima debe ser de 2,50 m/s.

La velocidad media del agua en cada tramo se determinó mediante la ecuación de continuidad.

$$Q = A \cdot V$$

Despejando:

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

donde

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

Esta verificación permite garantizar que las velocidades obtenidas sean compatibles con una operación adecuada de la red, evitando velocidades excesivas que incrementen las pérdidas de carga o velocidades demasiado bajas que favorezcan la sedimentación.

10. CÁLCULO HIDRÁULICO DE LA RUTA CRÍTICA

10.1. Definición de la ruta crítica

La ruta crítica corresponde al recorrido hidráulico comprendido entre el grupo de tanques elevados del bloque de aulas y el aparato sanitario más desfavorable de dicho sector.

Este recorrido representa la condición de diseño más exigente debido a que concentra la mayor demanda del proyecto y presenta la mayor longitud hidráulica entre el almacenamiento y el punto de consumo.

En consecuencia, si la presión residual resulta suficiente en esta condición, se considera que el resto de la red operará bajo condiciones iguales o más favorables.

10.2. Cálculo de pérdidas por tramo

Las pérdidas de carga fueron determinadas para cada tramo considerando el caudal acumulado obtenido mediante el Método de Hunter y la longitud total equivalente de la tubería.

Tramo	UA	Q (L/s)	Ø	L Total (m)	V (m/s)	hf (m)	Presión inicial (mca)	Presión residual (mca)
Tanques → Nodo 2	111	2.902	1½"	7.70	2.08	0.762	4.000	3.238
Nodo 2 → Nodo 3	51	1.829	1½"	1.65	1.31	0.070	3.238	3.168
Nodo 3 → Nodo 4	21	0.946	1"	1.65	1.17	0.136	3.168	3.032
Nodo 4 → Nodo 5	16	0.757	1"	3.82	0.94	0.209	3.032	2.823
Nodo 5 → Nodo 6	16	0.757	1"	3.20	0.94	0.175	2.823	2.648
Nodo 6 → Nodo 7	13	0.631	¾"	5.40	1.54	0.624	2.648	2.024
Nodo 7 → Sanitario	2	0.158	½"	2.12	0.63	0.064	2.024	1.960

Tabla 10-1. Ruta crítica grupo de tanques en los baños de las aulas.

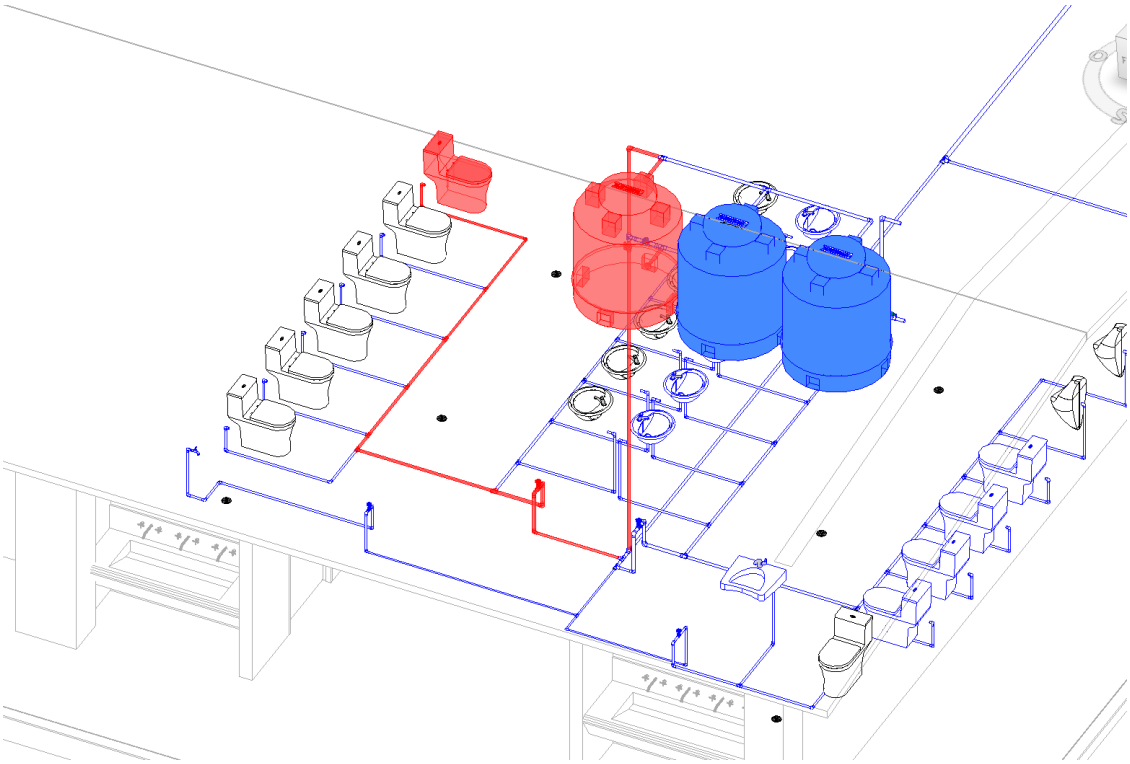

Ilustración 2. Ruta crítica grupo de tanques en los baños de las aulas.

La Tabla anterior evidencia que la presión disponible disminuye progresivamente a medida que el agua circula por la red, como consecuencia de las pérdidas de energía ocasionadas por la fricción en las tuberías y por los accesorios incorporados en cada tramo.

La carga hidráulica inicial disponible en los tanques elevados corresponde a **4,00 mca**. Después de descontar las pérdidas acumuladas de la ruta crítica, la presión residual obtenida en el aparato hidráulicamente más desfavorable es de **1,96 mca**, equivalente a **2,79 psi**.

Este comportamiento corresponde al esperado para un sistema de distribución por gravedad y confirma que la energía potencial proporcionada por los tanques elevados es suficiente para garantizar el funcionamiento del sistema sin necesidad de equipos de bombeo.

El resultado obtenido demuestra que el aparato hidráulicamente más desfavorable dispone de presión suficiente para su operación, aun después de considerar las pérdidas de carga acumuladas en la ruta crítica.

En consecuencia, el diseño garantiza que todos los aparatos ubicados aguas arriba dispondrán de una presión igual o superior a la obtenida en el punto de cálculo, asegurando el funcionamiento adecuado de la totalidad de la red.

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Con base en los cálculos desarrollados y en las verificaciones hidráulicas efectuadas, se concluye que el sistema de abastecimiento proyectado para el Instituto Educativo Santa Isabel de Curumaní es técnicamente viable y satisface las condiciones de operación previstas para una red de distribución por gravedad.
- La demanda diaria de agua fue determinada conforme a las dotaciones establecidas para edificaciones educativas, obteniéndose un consumo de diseño de 6,84 m³/día, valor que constituye la base para el dimensionamiento del sistema de almacenamiento y de la red de distribución.
- El caudal máximo probable fue calculado mediante el Método de Hunter, obteniéndose un gasto de diseño de 2,902 L/s para la condición de mayor simultaneidad de consumo. Este caudal fue empleado para el dimensionamiento del tramo principal y para la evaluación hidráulica de la ruta crítica.
- La red de distribución fue diseñada utilizando tuberías de PVC presión y analizada mediante la ecuación de Hazen-Williams, incorporando las pérdidas continuas y las pérdidas localizadas mediante el método de longitudes equivalentes.
- La ruta crítica fue evaluada considerando el grupo de tanques que abastece las baterías sanitarias de las aulas, por corresponder al sector con mayor demanda y a la condición hidráulica más exigente del proyecto.
- Los resultados obtenidos muestran que la presión residual disponible en el aparato hidráulicamente más desfavorable es de aproximadamente 1,96 mca (2,79 psi), valor que evidencia que la carga hidráulica generada por los tanques elevados es suficiente para compensar las pérdidas de carga de la red y garantizar el funcionamiento del sistema.
- La configuración mediante dos grupos independientes de almacenamiento representa una solución eficiente desde el punto de vista hidráulico, al reducir las pérdidas de carga, facilitar la operación y permitir la sectorización del abastecimiento.
- En consecuencia, se concluye que el sistema proyectado puede operar de manera satisfactoria mediante distribución por gravedad, sin requerir equipos de bombeo o sistemas de presurización adicionales.
- Durante la construcción deberá verificarse que las cotas de instalación de los tanques elevados correspondan a las consideradas en el presente diseño, ya que la presión disponible depende directamente de la diferencia de nivel entre el almacenamiento y los aparatos sanitarios.
- Las tuberías deberán instalarse respetando los diámetros definidos en la presente memoria, evitando reducciones no contempladas en el diseño, puesto que estas pueden incrementar las pérdidas de carga y disminuir la presión residual disponible en los puntos de consumo.
- Todos los accesorios deberán instalarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y procurando minimizar cambios innecesarios de dirección que incrementen las pérdidas localizadas.
- Antes de la puesta en funcionamiento del sistema deberá realizarse una prueba hidráulica de estanqueidad y funcionamiento, verificando que la presión disponible en los puntos más desfavorables sea consistente con los valores previstos en la presente memoria de cálculo.