



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE  
PARA UNA EDIFICACIÓN DE 4 PLANTAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Mecánico

AUTOR: LUIS MIGUEL MIRANDA CAJAMARCA

TUTOR: ING. MARLON XAVIER QUINDE ABRIL, MSC.

Cuenca – Ecuador

2025

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Luis Miguel Miranda Cajamarca con documento de identificación N° 0107158743 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 25 de julio del 2025

Atentamente,



---

Luis Miguel Miranda Cajamarca  
0107158743

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Luis Miguel Miranda Cajamarca con documento de identificación N° 0107158743, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable para una edificación de 4 plantas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 de julio del 2025

Atentamente,



---

Luis Miguel Miranda Cajamarca  
0107158743

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Marlon Xavier Quinde Abril con documento de identificación N° 0104627658, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA UNA EDIFICACIÓN DE 4 PLANTAS, realizado por Luis Miguel Miranda Cajamarca con documento de identificación N° 0107158743, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 de julio del 2025

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval. The signature is stylized and appears to read 'M. X. Q. A.'.

---

Ing. Marlon Xavier Quinde Abril, M.Sc  
0104627658

## **Dedicatoria**

A mi padre, Iván Miranda, por su amor incondicional, por su fortaleza inquebrantable y por estar siempre presente con su apoyo en cada etapa de mi vida. Su ejemplo de perseverancia y compromiso ha sido una guía constante en mi formación personal y profesional.

A mi madre, Carmen Cajamarca, por su ternura, por su dedicación diaria y por ser ese pilar silencioso que sostiene con amor y sabiduría. Sus palabras, su compañía y su entrega han sido el refugio que me ha dado paz y fuerzas para seguir adelante.

A mi hermano, Michael Miranda, por ser mi compañero en este camino de crecimiento. Su presencia me inspira a ser mejor cada día y a avanzar con responsabilidad, sabiendo que compartimos un mismo sueño de superación.

Este trabajo es una expresión del amor y el apoyo que he recibido de ustedes. Gracias por ser el motor que impulsa mis metas y por enseñarme que los grandes logros se construyen desde el amor y la unidad familiar.

# Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios, fuente de sabiduría, fortaleza y vida. En cada paso de este camino, su guía ha sido mi luz, dándome la salud, el discernimiento y la serenidad necesarios para superar los desafíos y culminar esta etapa con gratitud y esperanza.

A mis padres, Iván Miranda y Carmen Cajamarca, les debo cada logro alcanzado. Su amor, esfuerzo y apoyo constante han sido el cimiento de mi formación personal y académica. Su ejemplo de trabajo y dedicación ha moldeado mi carácter y mis convicciones.

A mis abuelitos, cuya ausencia física no ha sido impedimento para sentir su presencia en mi corazón. Aunque partieron cuando era niño, su recuerdo me ha acompañado siempre como un legado de ternura y valores que permanecen vivos en mi memoria.

Con especial cariño, agradezco a Osita, mi perrita que fue parte de mi vida durante doce años. Su compañía fiel y amor incondicional dejaron una huella imborrable. Hoy su recuerdo sigue siendo consuelo y motivo de gratitud.

También agradezco profundamente a mis actuales compañeros de vida: Suca, mi perrita rescatada, y mis dos gatitos, Mina y Tommy. Su presencia diaria ha sido un bálsamo en momentos de cansancio, llenando mis días de alegría y ternura, recordándome que el amor se manifiesta también en las pequeñas formas y silencios.

Extiendo mi sincero agradecimiento al Ing. Marlon Quinde, tutor de este proyecto de titulación, por su acompañamiento, orientación y paciencia a lo largo del desarrollo del presente trabajo. Su experiencia y compromiso fueron fundamentales para guiarme con criterio y responsabilidad en cada etapa del proceso.

A mis primos y primas, tanto por parte de mi mamá como de mi papá, por su apoyo incondicional. Y a todos quienes, de una u otra forma, estuvieron presentes en este trayecto gracias. Este logro también les pertenece; es reflejo del afecto y respaldo que me brindaron.

Este documento fue realizado enteramente en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

# Índice

<b>Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación</b>	<b>I</b>
<b>Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana</b>	<b>II</b>
<b>Certificado de dirección del trabajo de titulación</b>	<b>III</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>IV</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>V</b>
<b>Resumen</b>	<b>XVIII</b>
<b>Abstract</b>	<b>XIX</b>
<b>1. Glosario</b>	<b>1</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>3. Problema</b>	<b>2</b>
3.1. Antecedentes . . . . .	2
3.2. Importancia y alcances . . . . .	3
3.3. Delimitación . . . . .	4
3.3.1. Espacial o geográfica . . . . .	4
3.3.2. Temporal . . . . .	5
3.3.3. Sectorial o institucional . . . . .	5
3.4. Problema General . . . . .	5
3.5. Problemas Específicos . . . . .	5
<b>4. Justificación</b>	<b>6</b>
4.1. Justificación Social . . . . .	6
4.2. Justificación Ambiental . . . . .	6
4.3. Justificación Estadística . . . . .	6
<b>5. Objetivos</b>	<b>7</b>
5.1. Objetivo General . . . . .	7

5.2. Objetivos Específicos . . . . .	7
<b>6. Hipótesis</b>	<b>7</b>
6.1. Hipótesis General . . . . .	7
6.2. Hipótesis Específicas . . . . .	7
<b>7. Marco Teórico</b>	<b>8</b>
7.1. El agua potable como recurso fundamental en la salud y el desarrollo . . . . .	8
7.1.1. Importancia sanitaria y social . . . . .	8
7.1.1.1. Dimensión ambiental . . . . .	8
7.1.2. Requerimientos de calidad . . . . .	9
7.1.2.1. Consideraciones técnicas en edificaciones . . . . .	9
7.1.3. Aspecto estratégico y económico . . . . .	9
7.1.3.1. Importancia en entornos urbanos residenciales . . . . .	10
7.2. Fundamentos hidráulicos aplicables al diseño de redes de abastecimiento . . . . .	10
7.2.1. Ecuación de continuidad . . . . .	11
7.2.2. Principio de Bernoulli . . . . .	11
7.2.3. Número de Reynolds y régimen de flujo . . . . .	13
7.2.4. Pérdidas de energía por fricción . . . . .	14
7.2.5. Fórmula de Hazen-Williams . . . . .	14
7.2.5.1. Importancia de los fundamentos hidráulicos . . . . .	15
7.3. Requerimientos normativos y técnicos para el abastecimiento de agua potable en edificaciones . . . . .	15
7.3.1. Aspectos generales establecidos por la normativa . . . . .	16
7.3.2. Clasificación de los sistemas de abastecimiento . . . . .	16
7.3.2.1. Sistema directo . . . . .	16
7.3.2.2. Sistema indirecto . . . . .	17
7.3.2.3. Sistema mixto . . . . .	19
7.3.3. Requisitos de materiales y accesorios . . . . .	21
7.3.4. Condiciones de presión y caudal mínimo . . . . .	21
7.3.4.1. Importancia del cumplimiento normativo . . . . .	23
7.4. Métodos de cálculo de caudal y presión en redes interiores . . . . .	23
7.4.1. Método de Hunter . . . . .	24
7.4.2. Método de caudales instantáneos acumulados (NEC 2011) . . . . .	24
7.4.3. Cálculo de pérdidas de presión . . . . .	25

7.4.4.	Requisitos de presión y simultaneidad según NEC 2011 . . . . .	26
7.4.4.1.	Presiones mínimas y máximas . . . . .	26
7.4.4.2.	Factor de simultaneidad . . . . .	26
7.4.4.3.	Importancia de los métodos de cálculo . . . . .	27
7.5.	Clasificación de edificaciones y tipologías hidráulicas . . . . .	27
7.5.1.	Clasificación de edificaciones según uso . . . . .	27
7.5.2.	Clasificación según altura y número de plantas . . . . .	30
7.5.3.	Tipologías hidráulicas de abastecimiento . . . . .	31
7.5.3.1.	Importancia de la tipología de red hidráulica . . . . .	33
7.6.	Componentes del sistema de abastecimiento de agua potable . . . . .	33
7.6.1.	Elementos de almacenamiento . . . . .	33
7.6.2.	Sistemas de bombeo . . . . .	35
7.6.3.	Materiales comunes en redes hidráulicas . . . . .	36
7.6.4.	Accesorios y dispositivos complementarios . . . . .	37
7.6.4.1.	Importancia de los componentes . . . . .	37
7.7.	Estimación de costos y análisis de precios unitarios . . . . .	38
7.7.0.1.	Componentes principales del APU . . . . .	39
7.7.0.2.	Metodología de descomposición del trabajo . . . . .	39
7.7.0.3.	Factores que inciden en el costo . . . . .	40
7.7.0.4.	Aspectos clave de la especificación técnica . . . . .	40
7.7.0.5.	Beneficios de una estimación detallada . . . . .	41
7.7.0.6.	Importancia de la metodología APU . . . . .	42
<b>8.</b>	<b>Metodología</b>	<b>42</b>
8.1.	Establecimiento de condiciones iniciales para el diseño del sistema de abasteci- miento de agua potable . . . . .	42
8.1.1.	Condiciones generales de la edificación . . . . .	43
8.1.2.	Análisis por niveles de la edificación . . . . .	45
8.1.2.1.	Subsuelo . . . . .	45
8.1.2.2.	Planta baja . . . . .	46
8.1.2.3.	Primera planta . . . . .	47
8.1.2.4.	Segunda planta . . . . .	48
8.1.2.5.	Cubierta . . . . .	49
8.1.3.	Superficies de ambientes por planta . . . . .	50
8.1.4.	Variables cuantitativas requeridas . . . . .	51

8.1.5.	Dotaciones referenciales según uso . . . . .	53
8.1.6.	VARIABLES CUALITATIVAS CONSIDERADAS . . . . .	53
8.2.	Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable . . . . .	55
8.2.1.	Análisis de alternativas de diseño para el sistema de abastecimiento . . . . .	55
8.2.2.	Tipo de sistema de abastecimiento . . . . .	55
8.2.3.	Configuración de la red de tuberías . . . . .	56
8.2.4.	Tipo de material para el sistema de agua fría . . . . .	57
8.2.5.	Tipo de material para el sistema de agua caliente . . . . .	58
8.2.6.	Sistema de bombeo . . . . .	59
8.2.7.	Diseño hidráulico del sistema de abastecimiento de agua potable . . . . .	60
8.2.8.	Dimensionamiento de la cisterna . . . . .	61
8.2.8.1.	Nivel mínimo de agua . . . . .	62
8.2.8.2.	Ubicación de la cisterna . . . . .	62
8.2.8.3.	Horas de abastecimiento y caudal de llenado . . . . .	62
8.2.8.4.	Selección del diámetro de la tubería de llenado . . . . .	63
8.2.9.	Análisis hidráulico de la acometida hacia la edificación . . . . .	63
8.2.9.1.	Tramo 1-2 . . . . .	64
8.2.10.	Análisis hidráulico de la acometida hacia la cisterna . . . . .	67
8.2.10.1.	Cálculo del caudal . . . . .	68
8.2.10.2.	Cálculo de longitud equivalente por accesorios . . . . .	68
8.2.10.3.	Pérdida de carga por fricción . . . . .	68
8.2.10.4.	Presión residual en entrada a cisterna . . . . .	69
8.2.11.	Análisis del sistema de agua fría . . . . .	69
8.2.11.1.	Sistema directo en planta baja . . . . .	69
8.2.11.1.1.	Identificación del punto crítico . . . . .	70
8.2.11.1.2.	Cálculo del caudal instantáneo total . . . . .	70
8.2.11.1.3.	Cálculo del coeficiente de simultaneidad ( $K_s$ ) . . . . .	71
8.2.11.1.4.	Cálculo del caudal máximo probable ( $Q_{MP}$ ) . . . . .	71
8.2.11.1.5.	Cálculo de la velocidad ( $v$ ) . . . . .	71
8.2.11.1.6.	Cálculo de la longitud equivalente por accesorios . . . . .	71
8.2.11.1.7.	Longitud total del tramo . . . . .	71
8.2.11.1.8.	Pérdida de carga por fricción ( $H_f$ ) . . . . .	72
8.2.11.1.9.	Presión residual en el punto B . . . . .	72
8.2.11.1.10.	Resumen de resultados por tramos . . . . .	72
8.2.11.2.	Sistema indirecto en planta alta . . . . .	73

8.2.11.2.1. Método de análisis . . . . .	73
8.2.11.2.2. Justificación del tramo crítico B–H . . . . .	75
8.2.11.2.3. Determinación de unidades Hunter y caudales por tramos . . . . .	75
8.2.11.2.4. Cálculo de velocidades . . . . .	75
8.2.11.2.5. Cálculo de longitud equivalente por accesorios . . . . .	75
8.2.11.2.6. Pérdida de carga por fricción . . . . .	75
8.2.11.2.7. Presión residual y total requerida . . . . .	75
8.2.11.2.8. Resumen de resultados por tramos . . . . .	76
8.2.11.3. Sistema de Succión e Impulsión . . . . .	78
8.2.11.4. Determinación de la altura dinámica total . . . . .	81
8.2.11.5. Dimensionamiento del equipo de bombeo . . . . .	82
8.2.11.6. Selección del equipo de bombeo . . . . .	83
8.2.12. Análisis del sistema de agua caliente . . . . .	84
8.2.12.1. Sistema directo en planta baja . . . . .	84
8.2.12.2. Sistema indirecto en planta alta . . . . .	86
8.2.13. Simulación de redes hidráulicas mediante el software Pipe Flow . . . . .	88
8.3. Análisis técnico financiero empleando la metodología de precios unitarios . . . . .	99
<b>9. Resultados</b>	<b>104</b>
9.1. Condiciones iniciales para el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable . . . . .	104
9.2. Diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable en base a normativa	106
9.2.1. Paso 1: Dotaciones y población de diseño . . . . .	107
9.2.2. Paso 2: Volumen de reserva y acometida a cisterna . . . . .	107
9.2.3. Paso 3: Selección del tipo de sistema . . . . .	108
9.2.4. Paso 4: Configuración de la red y materiales . . . . .	108
9.2.5. Paso 5: Dimensionamiento hidráulico interno . . . . .	109
9.2.6. Paso 6: Sistema de bombeo . . . . .	110
9.2.7. Paso 7: Simulaciones en Pipe Flow . . . . .	110
9.3. Costos del sistema . . . . .	111
<b>10. Conclusiones</b>	<b>111</b>
<b>11. Recomendaciones</b>	<b>112</b>

**Referencias** **117**

**ANEXOS** **118**

Anexo A: Catálogo de la Bomba CP 160C marca pedrollo . . . . . 119

Anexo B: Simulación en Pipe Flow del Sistema de Agua Fría en la planta Baja . . 125

Anexo C: Simulación en Pipe Flow del Sistema de Agua Fría en la planta Alta . . 130

Anexo D: Simulación en Pipe Flow del Sistema de Agua Caliente en la planta Baja 137

Anexo E: Simulación en Pipe Flow del Sistema de Agua Caliente en la primera planta142

Anexo F: Simulación en Pipe Flow del Sistema de Agua Caliente en la segunda planta147

## Lista de Tablas

1.	Parámetros básicos de calidad de agua potable según NTE INEN 1108 . . . .	9
2.	Propiedades hidráulicas y rangos típicos de diseño en tuberías de agua potable	10
3.	Comparativa de los sistemas de abastecimiento de agua potable en edificaciones	21
4.	Caudales unitarios y presiones mínimas recomendadas según tipo de aparato sanitario . . . . .	22
5.	Presiones máximas permisibles y medidas de control en redes interiores de agua potable . . . . .	23
6.	Valores de Unidades de Demanda Probable según Hunter . . . . .	24
7.	Coefficientes de fricción de Hazen-Williams según el material de la tubería . .	25
8.	Factores de simultaneidad según cantidad de aparatos conectados . . . . .	26
9.	Clasificación general de edificaciones según uso principal . . . . .	30
10.	Comparación de configuraciones de red de distribución interior . . . . .	33
11.	Tipos de depósitos de almacenamiento . . . . .	34
12.	Características comparativas de sistemas de bombeo . . . . .	35
13.	Materiales comunes en tuberías de abastecimiento . . . . .	36
14.	Accesorios principales en redes de abastecimiento . . . . .	37
15.	Características generales de la edificación . . . . .	44
16.	Superficies de ambientes por planta . . . . .	51
17.	Variables cuantitativas consideradas en el diseño del sistema de abastecimiento	52
18.	Dotaciones mínimas de consumo diario según uso . . . . .	53
19.	Variables cualitativas contempladas en el diseño del sistema . . . . .	54
20.	<i>Tabla de ponderación para el tipo de sistema de abastecimiento . . . . .</i>	<i>56</i>
21.	<i>Tabla de ponderación para la configuración de red de tuberías . . . . .</i>	<i>57</i>
22.	<i>Tabla de ponderación del material para agua fría . . . . .</i>	<i>58</i>
23.	<i>Tabla de ponderación del material para agua caliente . . . . .</i>	<i>58</i>
24.	<i>Tabla de ponderación del sistema de bombeo . . . . .</i>	<i>59</i>
25.	<i>Dotación diaria de agua potable por tipo de espacio en la edificación . . . . .</i>	<i>61</i>
26.	Análisis de presión residual por tramos en la acometida . . . . .	67
27.	Análisis hidráulico de la acometida hacia la cisterna . . . . .	69
28.	Resumen del análisis de tramos en planta baja . . . . .	73
29.	Análisis de red de agua fría sistema indirecto (cisterna + bombeo) – método Hunter . . . . .	76
30.	Análisis del sistema de succión . . . . .	79

31.	Análisis del sistema de impulsión . . . . .	80
32.	Análisis del sistema de agua caliente en planta baja – sistema directo . . . . .	85
33.	Análisis de red de agua caliente en planta alta . . . . .	87
34.	Características generales de la edificación . . . . .	104
35.	Distribución de ambientes y superficie por planta . . . . .	105
36.	Resumen de aparatos hidrosanitarios por planta . . . . .	106
37.	Parámetros normativos base para el diseño . . . . .	106
38.	Dotaciones mínimas de consumo diario según uso . . . . .	107
39.	Análisis de presión residual por tramos en la acometida . . . . .	107
40.	Análisis hidráulico de la acometida hacia la cisterna . . . . .	107
41.	Ponderación para selección del tipo de sistema de abastecimiento . . . . .	108
42.	Tabla de ponderación del material para agua fría . . . . .	109
43.	Tabla de ponderación del material para agua caliente . . . . .	109
44.	Resumen de selección de bombeo . . . . .	110
45.	Resumen de resultados de simulación en Pipe Flow . . . . .	110

## Lista de Figuras

1.	Ubicación del Edificio . . . . .	4
2.	Esquema del Principio de Bernoulli aplicado a tuberías con variación de sección. Fuente:[1] . . . . .	12
3.	Concepto de presión estática y presión dinámica en redes hidráulicas. Fuente:[2]	13
4.	Distribución de velocidades en flujo laminar y turbulento. Fuente:[3] . . . . .	14
5.	Esquema de un sistema directo de suministro de agua potable. Fuente: [4] . .	17
6.	Esquema del sistema indirecto con cisterna, equipo de bombeo y tanque elevado. Fuente:[5] . . . . .	18
7.	Esquema del sistema indirecto con tanque elevado alimentado por gravedad. Fuente:[5] . . . . .	19
8.	Esquema de un sistema mixto de abastecimiento, combinando red pública y almacenamiento. Fuente: [5] . . . . .	20
9.	Curva del factor de simultaneidad en función del número de aparatos conectados. Elaboración propia con base en la NEC 2011. . . . .	27
10.	Edificio Residencial. Fuente:[6] . . . . .	28
11.	Edificio Comercial. Fuente:[7] . . . . .	28
12.	Edificio Industrial. Fuente:[8] . . . . .	29
13.	Edificio Institucional. Fuente:[9] . . . . .	29
14.	Clasificación de edificaciones según altura y modalidad de abastecimiento. Fuente: Elaboración propia . . . . .	31
15.	Trazo tipo Árbol. Fuente:[10] . . . . .	31
16.	Trazo tipo Loop o de Anillo. Fuente:[10] . . . . .	32
17.	Trazo tipo Parrilla o Cuadrícula. Fuente:[10] . . . . .	32
18.	Tipos de depósitos de almacenamiento. Fuente: Elaboración propia . . . . .	35
19.	Tipos de Bombas. Fuente: Elaboración propia . . . . .	36
20.	Esquema referencial de componentes del sistema de abastecimiento de agua potable. Fuente: Elaboración propia . . . . .	38
21.	Análisis de Precios Unitarios (APU). Fuente:[11] . . . . .	39
22.	Análisis de precios unitarios en proyectos de construcción. Fuente:[12] . . . . .	41
23.	Edificación modelado en Revit . . . . .	43
24.	Vista general del modelado BIM de la edificación . . . . .	44
25.	Niveles de altura de cada planta . . . . .	45
26.	Vista de planta del subsuelo y ubicación del cuarto de máquinas . . . . .	46

27.	Vista de planta baja con distribución de locales y servicios sanitarios . . . . .	47
28.	Vista de primera planta con distribución de aparatos sanitarios . . . . .	48
29.	Vista de segunda planta con disposición de espacios y aparatos . . . . .	49
30.	Vista de cubierta . . . . .	50
31.	Isométrico de la Acometida . . . . .	64
32.	Tabla de Longitudes equivalentes por accesorios . . . . .	65
33.	Isométrico del tramo A hasta cisterna . . . . .	67
34.	Vista de la red de tubería en Planta Baja . . . . .	70
35.	Isométrico del sistema de agua fría planta baja . . . . .	72
36.	Gastos probables para aplicación del método hunter . . . . .	74
37.	Unidades de Gasto(Usó Privado) . . . . .	74
38.	Isométrico del sistema indirecto de agua fría planta alta . . . . .	77
39.	Vista de la red de tubería en Plantas Superiores . . . . .	78
40.	Diámetros de succión e impulsión en función del caudal de bombeo . . . . .	79
41.	Isométrico de Succión . . . . .	80
42.	Isométrico de Impulsión . . . . .	81
43.	Familia de bomba . . . . .	83
44.	Bomba Pedrollo CP 160C 60hz (1,5 HP) . . . . .	84
45.	Isométrico de agua caliente de planta baja . . . . .	86
46.	Isométrico del sistema de agua caliente en planta alta . . . . .	87
47.	Isométrico de la red de tuberías de toda la edificación . . . . .	88
48.	Red de agua fría en la planta baja . . . . .	90
49.	Red de agua fría en la planta baja simulada . . . . .	91
50.	Red de agua fría en la planta alta . . . . .	92
51.	Red de tubería de agua fría en planta alta simulada . . . . .	93
52.	Red de agua fría en la planta baja . . . . .	94
53.	Red de agua fría en la planta baja simulada . . . . .	95
54.	Red de agua fría en la planta baja . . . . .	96
55.	Red de agua fría en la planta baja simulada . . . . .	97
56.	Red de agua fría en la planta baja . . . . .	98
57.	Red de agua fría en la planta baja simulada . . . . .	99
58.	Análisis de costos del subsistema de la red de tuberías de agua fría . . . . .	100
59.	Análisis de costos del subsistema de la red de tuberías de agua fría . . . . .	101
60.	Análisis de costos del subsistema de la red de tuberías de agua caliente . . . . .	102
61.	Análisis de costos del subsistema de cuarto de bombas . . . . .	103

62. Costo total del sistema de abastecimiento de agua potable . . . . . 111

## Resumen

**E**l acceso confiable al agua potable en edificaciones urbanas es un factor esencial para garantizar condiciones adecuadas de habitabilidad, salubridad y confort. El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable para una edificación multifamiliar de cuatro niveles ubicada en el sector Virgen de Bronce, parroquia Yanuncay, cantón Cuenca, Ecuador. El diseño propuesto se fundamenta en la normativa nacional e internacional vigente, incluyendo la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), las Normas Técnicas INEN y referencias complementarias como el Código Internacional de Plomería (IPC).

La metodología aplicada abarca el levantamiento de información arquitectónica, la determinación de la demanda hídrica por unidad habitacional, la selección del sistema de abastecimiento (cisterna y bomba con presión constante), así como el dimensionamiento hidráulico de la red de distribución utilizando simulación en Pipe Flow. Además, se realiza el cálculo de la capacidad de almacenamiento requerida y un análisis técnico-económico con base en precios unitarios para estimar los costos de implementación.

Los resultados obtenidos indican que el sistema propuesto cumple con los requisitos de presión, caudal y velocidad exigidos para asegurar una provisión continua y segura del recurso hídrico. Se concluye que un diseño técnicamente viable y conforme a las normas eleva significativamente la eficiencia del suministro, reduciendo pérdidas y mejorando la sostenibilidad operativa del edificio.

**Palabras clave:** Agua potable, abastecimiento, presión, caudal, sistema hidráulico, NEC, INEN, Pipe Flow, simulación, edificación multifamiliar.

## Abstract

**R**eliable access to potable water in urban buildings is essential to ensure proper habitability, sanitation, and comfort conditions. This study aims to design a potable water supply system for a four-story multifamily building located in the Virgen de Bronce sector, Yanuncay parish, Cuenca canton, Ecuador. The proposed design is based on current national and international standards, including the Ecuadorian Construction Code (NEC), INEN Technical Standards, and complementary references such as the International Plumbing Code (IPC).

The methodology involves architectural data collection, determination of water demand per residential unit, selection of the supply system (cistern, elevated tank, and constant pressure pump), and hydraulic sizing of the distribution network using Pipe Flow simulation. Additionally, the required storage capacity is calculated, and a technical-economic analysis is conducted using unit price estimation to assess implementation costs.

The results show that the proposed system meets the required pressure, flow rate, and velocity standards to ensure a continuous and safe water supply. It is concluded that a technically sound and regulation-compliant design significantly improves supply efficiency, reduces losses, and enhances the building's operational sustainability.

**Keywords:** Potable water, supply system, pressure, flow rate, hydraulic system, NEC, INEN, Pipe Flow, simulation, multifamily building.

# 1. Glosario

A continuación se presenta un glosario de términos utilizados en este trabajo:

<b>Presión Hidrostática</b>	Es la presión o fuerza que el peso de un fluido en reposo puede llegar a provocar. Se trata de la presión que experimenta un elemento por el solo hecho de estar sumergido en un líquido. [13]
<b>Red de Distribución</b>	Es el conjunto de tuberías, válvulas y otros componentes diseñados para transportar el agua potable que está almacenada en el tanque o que ha sido purificada en la planta de tratamiento hasta el punto donde se abastece una población, ya sea mediante tomas comunitarias o conexiones domiciliarias. [14]
<b>Sistema de Bombeo</b>	Es el sistema que cuenta con diversas partes que hacen posible el recorrido mediante tuberías, así como el acopio eventual de líquidos, permitiendo que las especificaciones de caudal y presión sean cumplidas. [15]
<b>Cisterna</b>	Es una estructura que sirve para almacenar el agua potable y que el edificio o casa al que abastece pueda disponer de esta en el momento que se requiera. [16]
<b>Caudal</b>	Es el volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado. [17]

# 2. Introducción

El acceso al agua potable en edificaciones urbanas representa uno de los pilares fundamentales para garantizar la salud, la higiene y el bienestar de sus ocupantes [18]. A medida que las ciudades experimentan un crecimiento acelerado, el diseño eficiente de sistemas de abastecimiento de agua en construcciones residenciales y multifuncionales se vuelve cada vez más relevante [19]. Esta infraestructura debe asegurar el suministro continuo, suficiente y con presiones adecuadas, incluso en condiciones de alta demanda o posibles fallas del servicio público [20].

En países como Ecuador, las edificaciones deben cumplir con requisitos técnicos establecidos por la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y regulaciones locales, que especifican los criterios para el diseño de redes internas, almacenamiento, bombeo y conexión a la red pública [21, 22]. Además, la implementación de tecnologías como sistemas de bombeo presurizado, tanques elevados o combinaciones de ambos permite adaptar las soluciones hidráulicas a diferentes condiciones topográficas, arquitectónicas y económicas [23].

Este proyecto de titulación se enfoca en el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable para una edificación multifamiliar de cuatro niveles ubicada en la ciudad de Cuenca. Para ello, se aplican criterios de ingeniería hidráulica, simulaciones computacionales, cumplimiento de normativas vigentes y una estimación de costos basada en precios unitarios, con el objetivo de garantizar un funcionamiento eficiente, seguro y sostenible del sistema.

## **3. Problema**

### **3.1. Antecedentes**

El acceso al agua potable es un derecho humano fundamental y un componente esencial para garantizar condiciones de vida dignas y saludables. A nivel global, múltiples organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas (ONU) han destacado la necesidad de mejorar los sistemas de distribución de agua en entornos urbanos, especialmente en contextos de rápido crecimiento poblacional y expansión constructiva [24, 25].

En Ecuador, el abastecimiento de agua potable en edificaciones urbanas ha sido regulado mediante normativas como la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2011) y las Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE INEN), que establecen los parámetros técnicos para el diseño e implementación de sistemas de distribución en edificaciones residenciales, comerciales e industriales [20, 26]. Sin embargo, en muchos proyectos, especialmente a nivel multifamiliar, se siguen evidenciando falencias en la planificación hidráulica, selección de equipos, y garantía de presión adecuada en todos los puntos de consumo.

Particularmente en ciudades como Cuenca, donde el crecimiento de zonas urbanas con edificaciones de múltiples plantas es cada vez más frecuente, se vuelve imperativo diseñar sistemas eficientes que aseguren un abastecimiento continuo, seguro y normativamente correcto, incluso ante escenarios de alta demanda o interrupciones del servicio público [21]. Frente a estos retos, el uso de herramientas de simulación hidráulica y modelado computacional, junto con una correcta interpretación normativa, permiten desarrollar soluciones integrales que

respondan a las necesidades actuales de infraestructura y sostenibilidad [18].

## 3.2. Importancia y alcances

### Importancia

El acceso al agua potable es un derecho humano fundamental y un componente esencial para garantizar la salud pública, la sostenibilidad ambiental y el desarrollo urbano [18, 19]. En ciudades como Cuenca, el crecimiento de la población urbana ha incrementado la demanda de infraestructuras eficientes para la distribución de agua en edificaciones multifamiliares. La falta de un diseño adecuado en los sistemas internos de abastecimiento puede generar deficiencias operativas como baja presión, desabastecimiento y consumo energético ineficiente, lo que afecta directamente la calidad de vida de los habitantes [20].

Este proyecto cobra especial relevancia al enmarcarse en el contexto del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 de la ONU, que plantea garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible para todos [21]. Además, responde al cumplimiento de normativas técnicas establecidas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y regulaciones del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), las cuales establecen parámetros para asegurar el correcto funcionamiento y la salubridad de las instalaciones hidráulicas [22, 23].

Desde una perspectiva práctica, el trabajo de titulación busca brindar una solución técnica a una necesidad real en una edificación residencial de cuatro niveles ubicada en Cuenca, beneficiando directamente a los usuarios del inmueble y contribuyendo con una propuesta replicable para otros contextos similares. Su correcta implementación aportará al uso racional del recurso hídrico y a una mejora en la eficiencia del sistema hidráulico interno del edificio.

### Alcance

El presente trabajo se centra en el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable para una edificación multifamiliar, compuesta por cuatro niveles: subsuelo, planta baja y dos plantas altas. El alcance del estudio comprende:

- El análisis arquitectónico y funcional del edificio.
- La determinación de consumos estimados según ocupación y tipo de uso.
- La propuesta de configuración hidráulica considerando sistemas mixtos de distribución (cisterna, bomba con presión constante y tanque elevado).
- El dimensionamiento de la red de tuberías principales y ramales, así como la selección de accesorios y válvulas.

- El diseño del cuarto de bombas y la ubicación de tanques de almacenamiento según la normativa vigente.
- La simulación hidráulica del sistema mediante software especializado (PipeFlow), con el objetivo de validar presiones, caudales y eficiencia operativa.
- La estimación de costos del sistema diseñado, utilizando análisis de precios unitarios.

El proyecto no contempla la ejecución física del sistema, pero deja establecidos todos los parámetros de diseño e implementación que podrían ser utilizados como base para su construcción futura. Asimismo, sienta precedentes para la aplicación de metodologías similares en otras edificaciones residenciales.

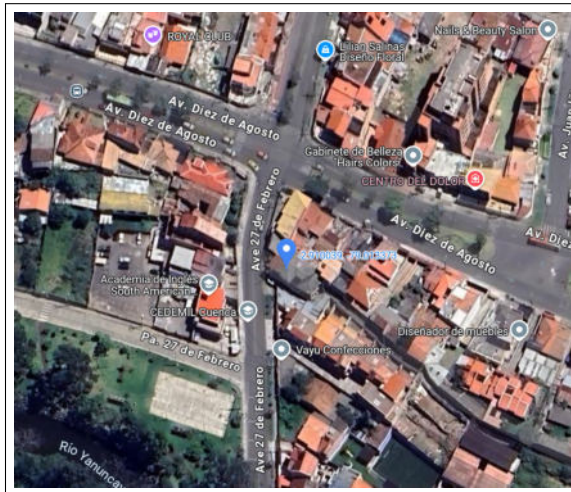
### 3.3. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

#### 3.3.1. Espacial o geográfica

El proyecto de titulación se realizará en la provincia de el Azuay, concretamente en la ciudad de Cuenca. El edificio en estudio se encuentra ubicado en la Av. 10 de Agosto y Av. 27 de Febrero, como se muestra en la **Figura 1**.

**Figura 1.** *Ubicación del Edificio.*



**Nota:** En la **Figura 1** se observa la ubicación del edificio en la Ciudad de Cuenca. [27].

### **3.3.2. Temporal**

El trabajo de titulación “Diseño de un Sistema de Abastecimiento de Agua Potable para una Edificación de 4 Plantas” se desarrollará durante el periodo académico 66, correspondiente entre Marzo y Agosto del 2025, con las fechas programadas en el calendario académico de la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca.

### **3.3.3. Sectorial o institucional**

El proyecto se enmarca dentro del sector de la construcción y los servicios básicos, específicamente en el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable para una edificación ubicada en la ciudad de Cuenca.

## **3.4. Problema General**

- ¿De qué manera se puede diseñar un sistema de abastecimiento de agua potable eficiente para una edificación de cuatro plantas en la ciudad de Cuenca, cumpliendo con la normativa nacional (NEC, NTE INEN) y garantizando la distribución adecuada del recurso hídrico en todos los niveles del edificio?

## **3.5. Problemas Específicos**

- ¿Se pueden establecer los parámetros iniciales necesarios para el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable en una edificación de cuatro plantas, conforme a las exigencias establecidas por la NEC 2011 y la NTE INEN 1108?
- ¿Es viable proponer el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable para una edificación de cuatro plantas, considerando las condiciones específicas de presión, caudal y distribución del recurso hídrico?
- ¿En qué medida la aplicación de la metodología de precios unitarios permite estimar de forma precisa los costos asociados al diseño e implementación del sistema de abastecimiento de agua potable en una edificación de cuatro plantas, considerando los elementos técnicos como la distribución de la red hídrica, cisterna y sistema de bombeo?

## **4. Justificación**

El presente proyecto busca contribuir al desarrollo urbano sostenible mediante el diseño técnico y normativo de un sistema de abastecimiento de agua potable para una edificación de cuatro plantas en la ciudad de Cuenca. Su correcta planificación permitirá asegurar un servicio continuo, eficiente y adaptado a las necesidades hidráulicas del edificio, alineado con la normativa vigente y buenas prácticas de ingeniería.

### **4.1. Justificación Social**

Desde el punto de vista social, el acceso seguro y eficiente al agua potable en edificaciones urbanas es un derecho básico que influye directamente en la salud, la calidad de vida y la productividad de las personas. El diseño de un sistema confiable de abastecimiento permite evitar problemas comunes como la escasez de presión, interrupciones o desabastecimiento en niveles superiores. Además, mejora las condiciones habitacionales y laborales dentro del edificio, beneficiando a sus ocupantes y usuarios en el corto y largo plazo.

### **4.2. Justificación Ambiental**

En el ámbito ambiental, un sistema bien dimensionado evita el desperdicio de agua, mejora el uso racional del recurso hídrico y reduce pérdidas por fugas o sobrepresiones. La incorporación de elementos como una cisterna y el correcto control de bombeo optimizan la eficiencia energética y disminuyen el impacto ambiental del uso de equipos. Este tipo de proyectos aporta a la sostenibilidad urbana, reduciendo la presión sobre las redes públicas de distribución, especialmente en contextos de crecimiento poblacional.

### **4.3. Justificación Estadística**

Este estudio utilizará datos reales sobre presiones, caudales y consumos para dimensionar técnicamente el sistema, lo que permitirá sustentar el diseño sobre evidencia cuantificable. A través del análisis hidráulico, simulaciones y la metodología de precios unitarios, se generará información estadística útil para la toma de decisiones en cuanto a costos, eficiencia hidráulica y comportamiento del sistema bajo distintas condiciones de operación. Esta información puede ser replicable para proyectos similares en edificaciones urbanas.

## **5. Objetivos**

### **5.1. Objetivo General**

- Diseñar un sistema de abastecimiento de agua potable para una edificación de cuatro plantas en la ciudad de Cuenca, garantizando su funcionalidad hidráulica y el cumplimiento de la normativa nacional vigente (NEC 2011 y NTE INEN 1108), con el fin de asegurar un suministro eficiente, continuo y adecuado en todos los niveles del edificio.

### **5.2. Objetivos Específicos**

- Determinar los parámetros iniciales necesarios para el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable en una edificación de cuatro plantas, de acuerdo con los requisitos establecidos por la NEC 2011 y la NTE INEN 1108.
- Diseñar un sistema de abastecimiento de agua potable para una edificación de cuatro plantas, considerando las condiciones específicas de presión, caudal, altura y demanda hidráulica de cada nivel, empleando un software de ingeniería para asegurar su funcionalidad.
- Aplicar la metodología de precios unitarios para estimar los costos asociados a la implementación del sistema de abastecimiento, considerando componentes como la red de tuberías, la cisterna y el sistema de bombeo.

## **6. Hipótesis**

### **6.1. Hipótesis General**

- La implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable diseñado de acuerdo con los lineamientos técnicos de la NEC 2011 y la NTE INEN 1108 permite garantizar un suministro eficiente, continuo y normativamente correcto en una edificación de cuatro plantas en la ciudad de Cuenca, optimizando el rendimiento hidráulico y la estimación precisa de costos mediante la aplicación de la metodología de precios unitarios.

### **6.2. Hipótesis Específicas**

- El establecimiento adecuado de los parámetros técnicos iniciales, conforme a la NEC 2011 y la NTE INEN 1108, permitirá un diseño hidráulico más eficiente y preciso del

sistema de abastecimiento de agua potable para una edificación de cuatro plantas.

- El diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable adaptado a las condiciones específicas de caudal, presión y demanda del edificio, validado mediante simulación en software de ingeniería, permitirá garantizar un suministro continuo y uniforme en todos los niveles de la edificación.
- La aplicación de la metodología de precios unitarios para el análisis económico del sistema diseñado facilitará una estimación precisa de los costos de implementación, optimizando los recursos requeridos para la instalación de tuberías, cisterna y sistema de bombeo.

## **7. Marco Teórico**

### **7.1. El agua potable como recurso fundamental en la salud y el desarrollo**

El agua potable constituye un elemento esencial para el desarrollo y la salud de las personas. Su disponibilidad segura y continua es un requisito indispensable para garantizar condiciones de vida dignas, prevenir enfermedades de transmisión hídrica y promover el bienestar colectivo [24, 25]. La Organización Mundial de la Salud define el agua potable como aquella que no contiene contaminantes físicos, químicos ni biológicos en concentraciones que representen un riesgo para la salud humana [24].

#### **7.1.1. Importancia sanitaria y social**

Según datos de la Organización Panamericana de la Salud, más del 20% de las enfermedades infecciosas se asocian directamente con la carencia de agua segura y saneamiento básico [28]. Esta realidad es especialmente relevante en Latinoamérica, donde la urbanización acelerada genera retos adicionales para el abastecimiento continuo y la calidad del recurso [29].

##### **7.1.1.1. Dimensión ambiental**

El acceso universal al agua potable está vinculado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular el ODS 6, que plantea como meta asegurar la disponibilidad y la gestión sostenible de este recurso [25]. La explotación intensiva de fuentes superficiales y subterráneas, sumada al cambio climático, amenaza la continuidad del suministro en muchas regiones [30].

### 7.1.2. Requerimientos de calidad

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 establece parámetros específicos de calidad, entre ellos [26]:

- Ausencia de Escherichia coli por cada 100 ml de muestra.
- Turbidez máxima de 5 NTU.
- Niveles de cloro residual libre entre 0.3 y 1.5 mg/l.

En la **Tabla 1** se presentan los principales parámetros establecidos por la norma ecuatoriana NTE INEN 1108 para garantizar la calidad del agua potable. Estos valores normativos son fundamentales para asegurar la inocuidad del recurso hídrico destinado al consumo humano, y constituyen una referencia técnica obligatoria para el diseño de sistemas de abastecimiento que cumplan con los estándares de salubridad, especialmente en cuanto a turbidez, contenido microbiológico y concentración de cloro residual.

**Tabla 1.** Parámetros básicos de calidad de agua potable según NTE INEN 1108

Parámetro	Valor máximo permitido
Turbidez	5 NTU
Coliformes totales	Ausencia / 100 ml
Cloro residual libre	1.5 mg/l
Hierro	0.3 mg/l

#### 7.1.2.1. Consideraciones técnicas en edificaciones

El diseño de sistemas de abastecimiento en edificios multifamiliares requiere garantizar que estas condiciones de calidad se mantengan hasta el punto de consumo. Para ello, es indispensable seleccionar tuberías certificadas, prever almacenamiento higiénico y utilizar válvulas de retención que impidan el retorno de agua contaminada [31, 32].

### 7.1.3. Aspecto estratégico y económico

El agua potable no sólo es un servicio público, sino un recurso estratégico que impacta en la productividad y en los costos de operación de las edificaciones [30]. Por este motivo, la correcta planificación y dimensionamiento del sistema contribuye a optimizar el uso del recurso, reducir desperdicios y asegurar sostenibilidad económica en el largo plazo [29].

### 7.1.3.1. Importancia en entornos urbanos residenciales

El abastecimiento confiable y seguro de agua potable resulta prioritario en edificaciones multifamiliares ubicadas en áreas urbanas, debido a factores como la concentración de usuarios, la altura de los edificios, la variabilidad de los consumos diarios y las restricciones de presión provenientes de la red pública. Estas características obligan a adoptar diseños que cumplan con las disposiciones de normativas nacionales como la NEC 2011 y la NTE INEN 1108, así como con las recomendaciones de organismos internacionales de salud y estándares técnicos especializados. El cumplimiento riguroso de estos lineamientos no solo contribuye a la protección de la salud pública, sino que también optimiza la eficiencia operativa y la sostenibilidad de los sistemas de distribución [20, 26, 24, 25, 22].

## 7.2. Fundamentos hidráulicos aplicables al diseño de redes de abastecimiento

El diseño de los sistemas de abastecimiento de agua potable requiere la comprensión de principios hidráulicos que permiten determinar el comportamiento del flujo dentro de las tuberías, evaluar las pérdidas de energía y garantizar presiones adecuadas en todos los puntos de consumo. A continuación se describen los conceptos fundamentales que sustentan los cálculos de caudal, velocidad y pérdidas de carga en redes interiores [18, 22, 31].

La **Tabla 2** resume algunos rangos de parámetros utilizados habitualmente en el diseño de redes de abastecimiento de agua potable, conforme a manuales especializados y normas de hidráulica aplicada.

**Tabla 2.** Propiedades hidráulicas y rangos típicos de diseño en tuberías de agua potable

Parámetro	Símbolo	Rango típico
Velocidad del flujo	$v$	0.6 – 2.5 m/s
Presión de servicio	$P$	2 – 6 bar
Número de Reynolds	$Re$	>4000 (turbulento)
Rugosidad relativa (PVC)	$\epsilon/D$	0.0015
Coefficiente de Hazen-Williams (PVC)	$C$	150
Coefficiente de Darcy-Weisbach (turbulento)	$f$	0.018 – 0.030
Pérdida local en codo 90°	$k$	0.9

### 7.2.1. Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad establece que, para un flujo permanente de un fluido incompresible, el caudal volumétrico que entra a un tramo de tubería es igual al que sale, garantizando la conservación de la masa:

$$Q = A \cdot V$$

Donde:

- $Q$  es el caudal volumétrico ( $m^3/s$ )
- $A$  es el área transversal de la tubería ( $m^2$ )
- $V$  es la velocidad media del flujo ( $m/s$ )

Este principio permite calcular la velocidad en función del caudal esperado en cada tramo de la red [19].

### 7.2.2. Principio de Bernoulli

El principio de Bernoulli expresa la conservación de la energía en un fluido ideal que circula por una tubería. La energía total se compone de energía de presión, energía cinética y energía potencial:

$$P + \frac{1}{2}\rho V^2 + \rho g z = \text{constante}$$

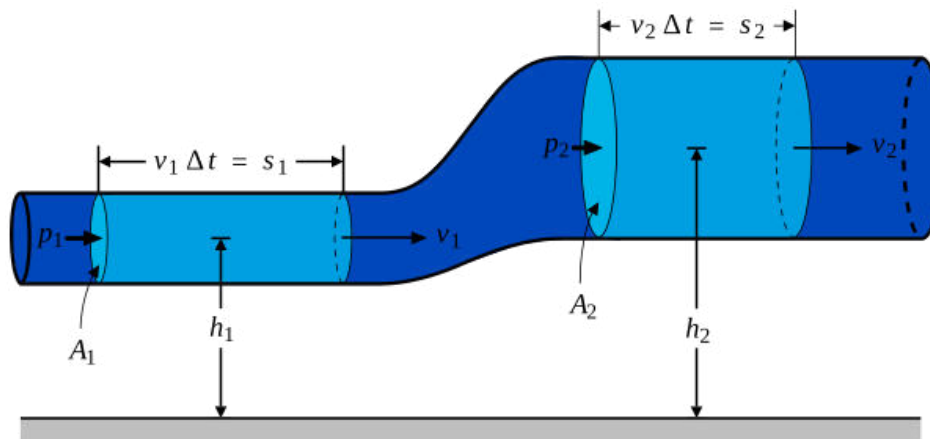
Donde:

- $P$  es la presión interna del fluido ( $Pa$ )
- $\rho$  es la densidad del agua ( $kg/m^3$ )
- $V$  es la velocidad ( $m/s$ )
- $g$  es la aceleración de la gravedad ( $9.81m/s^2$ )
- $z$  es la altura geométrica ( $m$ )

En el diseño real de tuberías se deben considerar también las pérdidas por fricción y accesorios, que reducen la energía disponible en los puntos de consumo [22, 18].

La **Figura 2** muestra el comportamiento de la presión y la velocidad de un fluido que circula a través de un estrechamiento, concepto fundamental para comprender la conservación de la energía.

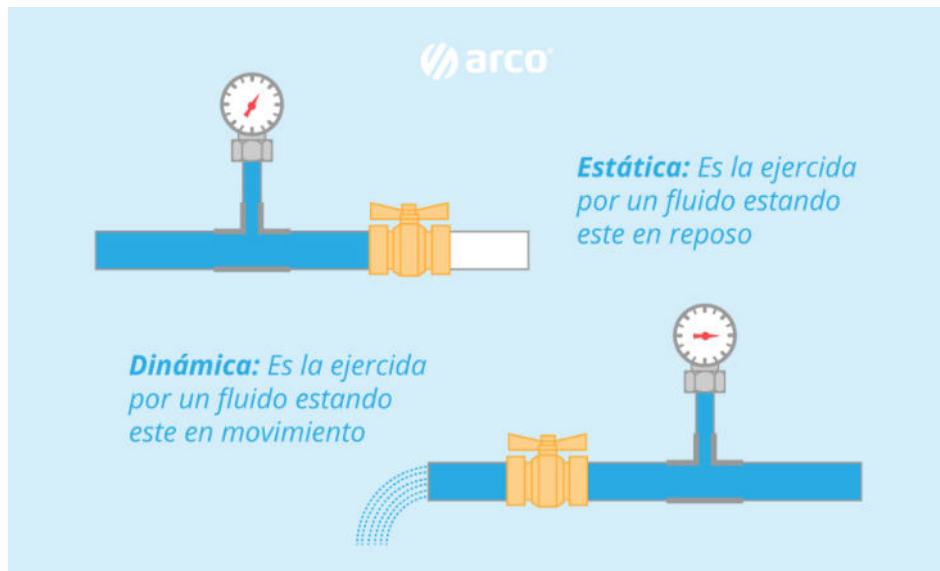
**Figura 2.** Esquema del Principio de Bernoulli aplicado a tuberías con variación de sección. Fuente:[1]



La presión total en una conducción puede descomponerse en presión estática y presión dinámica, según el punto de medición y el régimen de flujo. La presión estática corresponde a la presión que ejerce el fluido en reposo o medida perpendicular al flujo, mientras que la presión dinámica se relaciona con la energía cinética de la corriente. Esta diferenciación es importante para interpretar manometrías y seleccionar adecuadamente válvulas y accesorios.

La **Figura 3** diferencia entre presión ejercida por un fluido en reposo (estática) y presión ejercida en movimiento (dinámica), ambas relevantes en la operación de redes presurizadas.

**Figura 3.** Concepto de presión estática y presión dinámica en redes hidráulicas. Fuente:[2]



### 7.2.3. Número de Reynolds y régimen de flujo

El número de Reynolds ( $Re$ ) permite clasificar el flujo como laminar o turbulento, aspecto fundamental para determinar el método de cálculo de las pérdidas de presión. Se define como:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Donde:

- $D$  es el diámetro interno de la tubería ( $m$ )
- $\mu$  es la viscosidad dinámica del agua ( $Pa \cdot s$ )

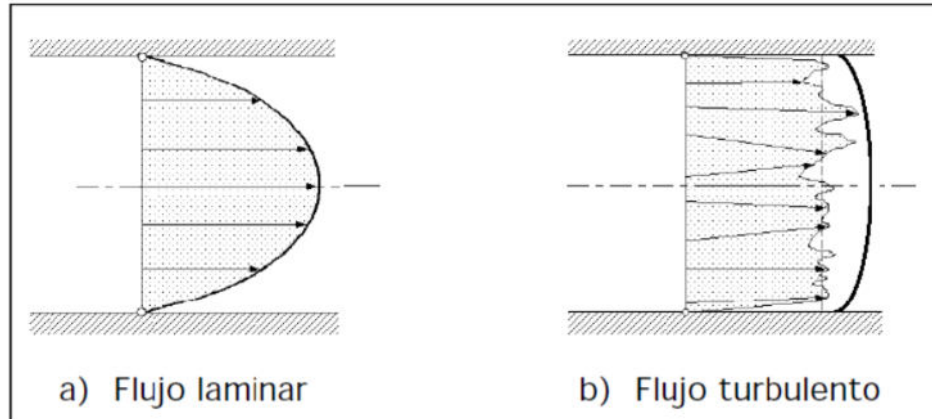
La clasificación típica es:

- Flujo laminar:  $Re < 2000$
- Flujo de transición:  $2000 < Re < 4000$
- Flujo turbulento:  $Re > 4000$

En sistemas de agua potable, el flujo generalmente es turbulento [33].

La **Figura 4** representa la forma del perfil de velocidades en régimen laminar y turbulento, que determina la magnitud de las pérdidas por fricción.

**Figura 4.** Distribución de velocidades en flujo laminar y turbulento. Fuente:[3]



#### 7.2.4. Pérdidas de energía por fricción

Las pérdidas de energía se originan por la fricción del fluido contra las paredes de la tubería. La fórmula general para estimar la pérdida de carga por fricción en un tramo de tubería se expresa como:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

- $h_f$  es la pérdida de carga por fricción ( $m$ )
- $f$  es el coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach
- $L$  es la longitud del tramo de tubería ( $m$ )

El coeficiente  $f$  depende del régimen de flujo y de la rugosidad relativa de la tubería. En diseño hidráulico, para tuberías en régimen turbulento, se utilizan tablas o diagramas de Moody [18].

#### 7.2.5. Fórmula de Hazen-Williams

La fórmula de Hazen-Williams es una expresión empírica ampliamente utilizada para calcular pérdidas de carga en tuberías que transportan agua potable a temperatura ambiente. Su forma simplificada en unidades del Sistema Internacional es:

$$h_f = 10.67 \cdot L \cdot \left( \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} \cdot D^{4.87}} \right)$$

Donde:

- $h_f$ : pérdida de carga por fricción ( $m$ )
- $Q$ : caudal ( $L/s$ )
- $C$ : coeficiente de rugosidad (PVC: 150; acero: 120)
- $D$ : diámetro interno ( $m$ )
- $L$ : longitud ( $m$ )

La NEC recomienda su uso en el diseño de redes de abastecimiento de agua potable en edificaciones, por su facilidad de aplicación y precisión aceptable en condiciones habituales de caudal y presión [20, 26].

#### **7.2.5.1. Importancia de los fundamentos hidráulicos**

El conocimiento de estas relaciones permite dimensionar correctamente las tuberías, estimar las presiones mínimas disponibles en los aparatos sanitarios y seleccionar equipos de bombeo adecuados. La aplicación rigurosa de estos fundamentos contribuye a la eficiencia y seguridad de las instalaciones [34, 33].

### **7.3. Requerimientos normativos y técnicos para el abastecimiento de agua potable en edificaciones**

El diseño y ejecución de los sistemas de abastecimiento de agua potable en edificaciones están regulados por disposiciones técnicas y normativas cuyo objetivo primordial es asegurar que el suministro se mantenga continuo, con caudales suficientes y en condiciones que preserven la salud de los usuarios. Estas regulaciones se sustentan tanto en normas nacionales como en referencias internacionales de reconocida trayectoria técnica [20, 26, 34, 28].

En el contexto ecuatoriano, los principales documentos normativos son la **Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) 2011**, Capítulo 16 “Norma Hidrosanitaria NHE Agua”, y la **Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108**. Ambos instrumentos establecen los criterios mínimos de diseño, materiales permitidos, presiones de servicio y disposiciones de seguridad sanitaria. De forma complementaria, organismos internacionales como la **American Water Works Association (AWWA)** y la **Organización Panamericana de la Salud (OPS)** emiten lineamientos técnicos que respaldan las mejores prácticas en el manejo de redes hidráulicas [34, 35].

### **7.3.1. Aspectos generales establecidos por la normativa**

De acuerdo con estas regulaciones, todo sistema de abastecimiento de agua potable debe contemplar, como mínimo, las siguientes condiciones técnicas [20, 26, 19]:

- Proveer caudales de diseño adecuados para atender la demanda máxima simultánea de los artefactos sanitarios instalados.
- Garantizar presiones dinámicas comprendidas entre 15 mca y 60 mca, considerando las pérdidas por fricción y altura geométrica.
- Utilizar materiales aprobados y tuberías certificadas para conducción de agua potable.
- Prever dispositivos de protección contra retornos y contaminación cruzada.
- Incorporar válvulas de cierre sectorizadas por niveles o departamentos.

La **NEC 2011** además establece que se deben calcular los diámetros mínimos de tubería considerando la velocidad máxima admisible, usualmente entre 2.5 m/s y 3 m/s, según el material empleado.

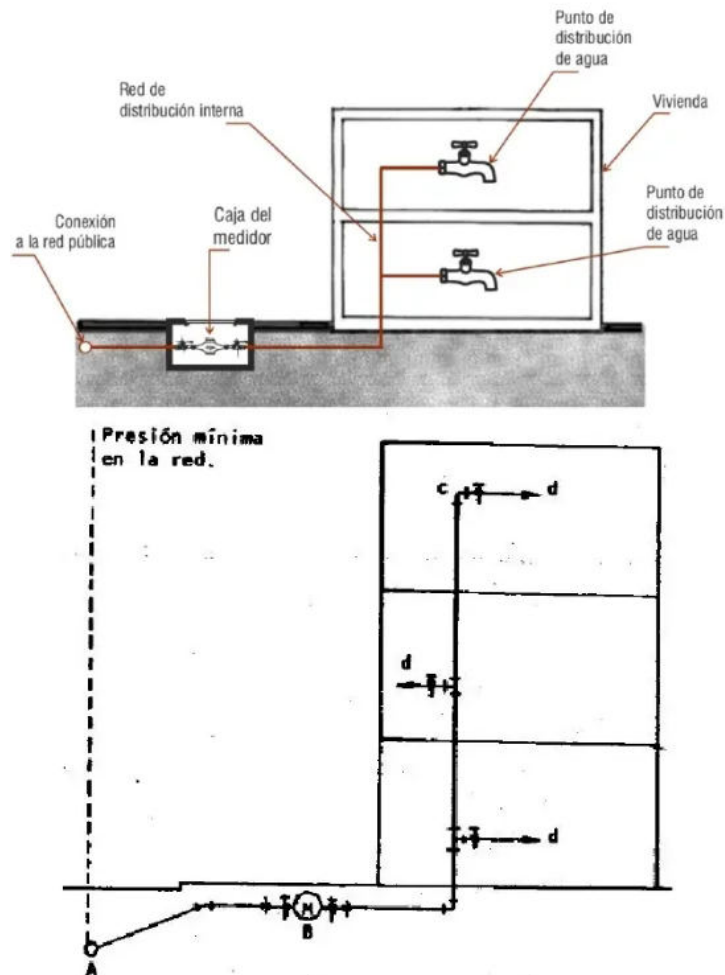
### **7.3.2. Clasificación de los sistemas de abastecimiento**

Según la NEC 2011 y criterios técnicos internacionales, los sistemas de abastecimiento de agua potable se clasifican en tres modalidades principales, considerando la forma de alimentación y almacenamiento:

#### **7.3.2.1. Sistema directo**

La **Figura 5** ilustra el principio de funcionamiento de un sistema directo de abastecimiento de agua potable. Este tipo de sistema se caracteriza por depender exclusivamente de la presión que entrega la red pública, sin recurrir a tanques de almacenamiento ni equipos de bombeo. El esquema permite visualizar de forma clara la conexión entre la red pública y los puntos de consumo, evidenciando la simplicidad de esta configuración en comparación con otros tipos de sistemas.

**Figura 5.** Esquema de un sistema directo de suministro de agua potable. Fuente: [4]



### 7.3.2.2. Sistema indirecto

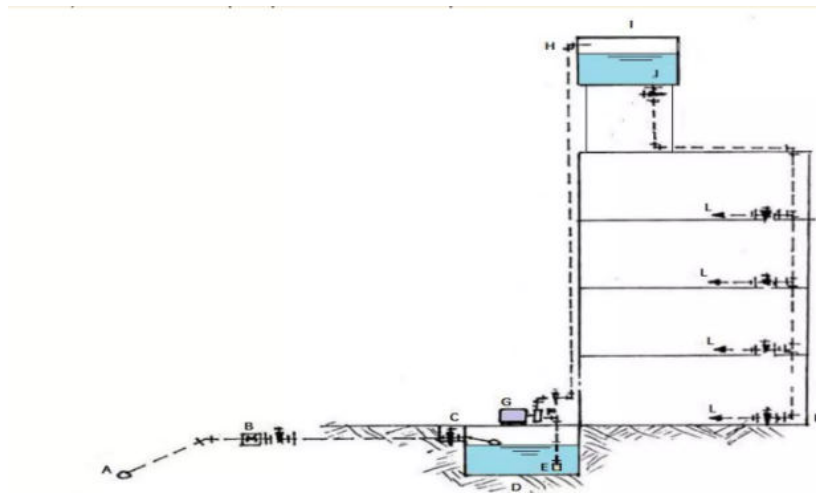
Este sistema incorpora un almacenamiento intermedio que puede estar constituido por cisternas y/o tanques elevados. Según el diseño, puede adoptar dos configuraciones:

- Alimentación por tanque elevado: el agua se almacena en un tanque en la parte superior de la edificación y se distribuye por gravedad.
- Alimentación mediante cisterna, equipo de bombeo y tanque elevado: el agua se almacena en un tanque subterráneo y se bombea hacia los puntos de consumo o al tanque elevado.

Esta modalidad es la más empleada en edificaciones medianas y altas, ya que permite mantener presiones controladas y disponer de reservas ante cortes de suministro.

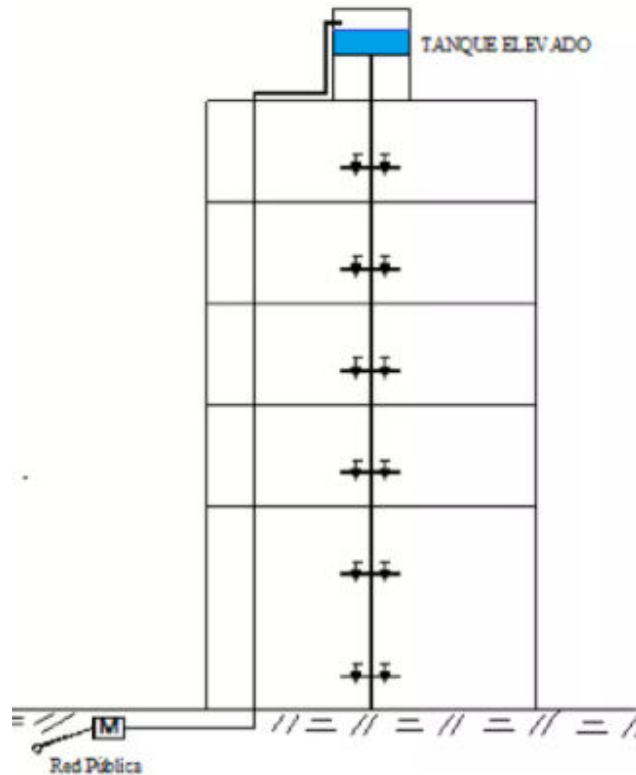
La **Figura 6** representa un sistema indirecto que utiliza una cisterna subterránea, un sistema de bombeo y un tanque elevado para garantizar el abastecimiento de agua. Esta configuración permite una regulación adecuada de la presión en edificaciones de varios niveles, además de asegurar una reserva útil ante cortes de suministro o fluctuaciones de presión en la red pública.

**Figura 6.** Esquema del sistema indirecto con cisterna, equipo de bombeo y tanque elevado.  
Fuente:[5]



Por otro lado, la **Figura 7** muestra la variante más simple del sistema indirecto, en la cual el tanque elevado es abastecido directamente desde la red pública o mediante bombeo, y desde ahí se distribuye el agua por acción de la gravedad. Este sistema es común en edificaciones de mediana altura, donde no se requiere una presurización constante.

**Figura 7.** Esquema del sistema indirecto con tanque elevado alimentado por gravedad.  
Fuente:[5]

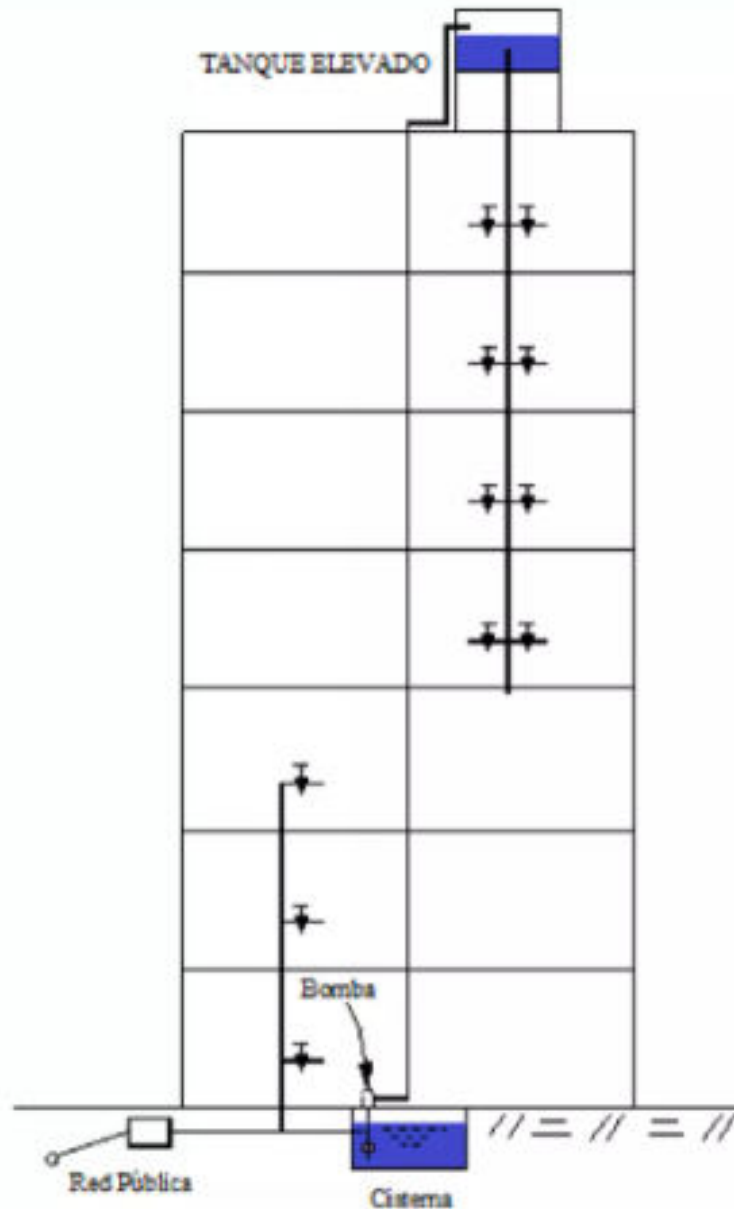


### 7.3.2.3. Sistema mixto

Combina alimentación directa desde la red pública para los niveles inferiores, siempre que la presión sea suficiente, y alimentación indirecta mediante tanque elevado o cisterna con bombeo para los niveles superiores. Este sistema optimiza el uso de la presión de red y reduce la capacidad de almacenamiento requerida en comparación con un sistema indirecto puro.

La **Figura 8** ilustra un sistema mixto de abastecimiento, en el cual se aprovecha la presión de la red pública para abastecer directamente los niveles inferiores, mientras que los niveles superiores son alimentados mediante un sistema de bombeo desde una cisterna. Esta solución permite una optimización de recursos y un diseño más eficiente en edificaciones con variaciones de altura y consumo.

**Figura 8.** Esquema de un sistema mixto de abastecimiento, combinando red pública y almacenamiento. Fuente: [5]



La **Tabla 3** permite contrastar las principales características, ventajas, desventajas y aplicaciones típicas de los tres tipos de sistemas de abastecimiento. Esta comparación resulta clave para seleccionar el sistema más adecuado en función del tipo de edificación y condiciones locales de presión y caudal.

**Tabla 3.** Comparativa de los sistemas de abastecimiento de agua potable en edificaciones

Sistema	Ventajas	Desventajas	Aplicación Típica
Directo	- Menor inversión inicial. - Sencillez operativa.	- Dependencia total de la presión de red. - Sin almacenamiento de reserva.	Viviendas unifamiliares y edificios de baja altura donde la red pública garantiza presión constante.
Indirecto	- Disponibilidad de reserva mediante tanque elevado o cisterna. - Mayor control de presiones internas.	- Mayor costo de instalación. - Mantenimiento periódico de depósitos y bombas.	Edificios multifamiliares, medianos y altos con presión irregular en red pública.
Mixto	- Flexibilidad de operación. - Reducción de tamaño de tanques y bombas. - Ahorro energético parcial.	- Complejidad técnica de la red combinada. - Mayor control y supervisión operativa.	Edificios de gran altura, hoteles, hospitales y proyectos donde parte del consumo puede abastecerse directamente y el resto mediante tanque elevado.

### 7.3.3. Requisitos de materiales y accesorios

La NEC 2011 y la NTE INEN 1108 determinan que las tuberías utilizadas deben ser de materiales que garanticen potabilidad y resistencia mecánica, tales como PVC presión, CPVC, cobre o polietileno reticulado (PEX). Asimismo, todos los sistemas deben incorporar:

- Válvulas de retención en conexiones con la red pública.
- Válvulas de cierre por cada departamento o unidad funcional.
- Accesorios certificados que eviten fugas y deterioro prematuro.

### 7.3.4. Condiciones de presión y caudal mínimo

El sistema debe diseñarse de modo que se cumpla la presión mínima dinámica en los artefactos sanitarios más desfavorables. La NTE INEN 1108 establece presiones mínimas de 0.15 MPa (15 mca) y máximas de 0.60 MPa (60 mca) en las tuberías interiores [26].

De igual forma, se recomienda verificar que los caudales instantáneos por aparato cumplan las dotaciones mínimas indicadas en la normativa y en las guías de la AWWA, evitando caídas de presión excesivas en consumos simultáneos [34, 18].

Los aparatos sanitarios deben alimentarse con caudales unitarios y presiones mínimas suficientes para su correcto funcionamiento. La **Tabla 4** muestra rangos de referencia establecidos en manuales y normas nacionales [26, 20].

**Tabla 4.** Caudales unitarios y presiones mínimas recomendadas según tipo de aparato sanitario

Aparato Sanitario	Caudal Unitario (L/s)	Presión Mínima (mca)	Uso Típico
Lavamanos	0.10 – 0.15	3.0 – 4.0	Baños residenciales y oficinas
Ducha	0.15 – 0.25	5.0 – 7.0	Baños residenciales y vestuarios
Inodoro con tanque	0.10 – 0.15	4.0	Baños residenciales y comerciales
Fregadero de cocina	0.10 – 0.20	3.0	Cocinas domésticas y restaurantes
Llave de jardín	0.15	3.0	Uso exterior
Lavadora doméstica	0.20 – 0.30	4.0	Área de lavandería

Estos valores orientativos permiten dimensionar adecuadamente las tuberías y seleccionar válvulas y accesorios acordes con la presión mínima requerida.

La presión disponible en la red debe mantenerse dentro de rangos permisibles que garanticen la seguridad de los artefactos y la comodidad del usuario. La **Tabla 5** resume los valores límite y recomendaciones principales [20].

**Tabla 5.** Presiones máximas permisibles y medidas de control en redes interiores de agua potable

Parámetro	Valor de Referencia	Observación
Presión estática máxima	6.0 bar (60 mca)	Superar este límite requiere instalar válvulas reductoras de presión [20]
Presión dinámica mínima	1.5 bar (15 mca)	Debe garantizarse en el punto de consumo más desfavorable [26]
Presión dinámica recomendada en duchas	2.0 – 3.5 bar (20 – 35 mca)	Mejora confort y caudal disponible [34]
Presión máxima en artefactos sanitarios	4.0 bar (40 mca)	Para prolongar la vida útil de válvulas y accesorios [33]

Mantener las presiones dentro de estos límites es esencial para preservar la integridad de la instalación, optimizar el funcionamiento de los aparatos y evitar desperdicios de agua.

#### 7.3.4.1. Importancia del cumplimiento normativo

La observancia estricta de estos requerimientos normativos garantiza no solo la seguridad de los ocupantes y la calidad del agua, sino también la eficiencia hidráulica y la sostenibilidad operativa del sistema. Su omisión puede derivar en sanciones, afectaciones sanitarias y costos de corrección significativamente elevados [35, 23].

### 7.4. Métodos de cálculo de caudal y presión en redes interiores

El dimensionamiento de redes de abastecimiento de agua potable en edificaciones requiere la aplicación de métodos que permitan estimar de manera confiable el caudal máximo probable, las pérdidas de presión y la capacidad hidráulica de cada tramo de tubería. El uso de procedimientos estandarizados asegura que todos los puntos de consumo cuenten con caudal y presión suficientes, conforme a los estándares de salubridad y confort definidos en la normativa vigente [20, 22, 36].

### 7.4.1. Método de Hunter

El método de Hunter emplea el concepto de Unidades de Demanda Probable (UDP), asignando un valor a cada artefacto sanitario según su uso y frecuencia de operación. A partir de la suma total de unidades y la consulta de tablas, se obtiene el caudal probable simultáneo que alimentará la red [37]. Este enfoque evita sobredimensionar tuberías y es especialmente útil en edificaciones con un alto número de aparatos de consumo [38]. La **Tabla 6** muestra los valores típicos de Unidades de Demanda Probable (UDP) asignadas a los principales artefactos sanitarios domésticos según el método propuesto por Hunter. Estos valores permiten transformar el número de aparatos en una unidad común de demanda hidráulica, facilitando el cálculo del caudal probable simultáneo de diseño. Esta herramienta resulta fundamental para un dimensionamiento eficiente de tuberías en edificaciones residenciales y multifamiliares.

**Tabla 6.** Valores de Unidades de Demanda Probable según Hunter

<b>Artefacto</b>	<b>Unidades de Demanda</b>
Lavamanos	1.0
Inodoro con tanque	2.5
Ducha	2.0
Fregadero de cocina	2.0
Lavadora doméstica	4.0

Este método resulta adecuado cuando se proyectan edificaciones con más de 10 unidades de consumo, debido a su capacidad de representar caudales máximos probables sin sobredimensionar la red [39].

### 7.4.2. Método de caudales instantáneos acumulados (NEC 2011)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción propone sumar los caudales unitarios de los aparatos y aplicar factores de simultaneidad en función de la cantidad total de puntos de consumo. Este método es considerado conservador y garantiza un margen de seguridad adecuado en edificaciones residenciales y comerciales de pequeña escala [20].

Es importante considerar la clasificación de los aparatos según uso intermitente o continuo y verificar que la presión residual cumpla con los mínimos normativos establecidos [36].

### 7.4.3. Cálculo de pérdidas de presión

Para estimar pérdidas de carga por fricción, se recomienda el uso de la fórmula de Hazen-Williams, ampliamente adoptada en el cálculo de redes interiores de agua potable por su sencillez y precisión aceptable:

$$h_f = 10.67 \cdot \frac{L}{C^{1.85} \cdot D^{4.87}} \cdot Q^{1.85}$$

donde:

- $h_f$ : pérdida de carga (m)
- $L$ : longitud de la tubería (m)
- $C$ : coeficiente de rugosidad
- $D$ : diámetro interno (m)
- $Q$ : caudal (L/s)

En instalaciones más complejas o cuando se requiere mayor precisión, se recomienda utilizar la ecuación de Darcy-Weisbach y diagramas de Moody, que permiten considerar el régimen de flujo mediante el número de Reynolds [38, 39]. Aunque la ecuación de Darcy-Weisbach es más precisa al considerar el número de Reynolds y el factor de fricción  $f$ , en muchos casos prácticos de diseño de redes hidráulicas en edificaciones se emplea la fórmula empírica de Hazen-Williams por su simplicidad y aceptable nivel de precisión. Esta ecuación requiere conocer el coeficiente de fricción  $C$ , el cual depende del tipo de material de la tubería y su estado interno. En la **Tabla 7** se presentan los valores típicos de este coeficiente para distintos materiales comúnmente utilizados en instalaciones de agua potable.

**Tabla 7.** Coeficientes de fricción de Hazen-Williams según el material de la tubería

Material	Coficiente C
Hierro fundido sin recubrimiento interno	130
Acero sin recubrimiento interno	120
PVC, PEAD	150
Acero galvanizado	120
Concreto (superficie rugosa)	120
Concreto centrifugado	130

#### 7.4.4. Requisitos de presión y simultaneidad según NEC 2011

La **Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2011), Capítulo 16**, establece condiciones mínimas y máximas de presión, así como criterios de simultaneidad aplicables al diseño de redes interiores de agua potable en edificaciones residenciales y multifamiliares [20]. Estas directrices son fundamentales para dimensionar correctamente las tuberías, garantizar la funcionalidad de los aparatos sanitarios y prevenir daños en las instalaciones.

##### 7.4.4.1. Presiones mínimas y máximas

De acuerdo con la NEC 2011, se deben cumplir los siguientes requisitos de presión:

- **Presión dinámica mínima:** 0.15 MPa (1.5 bar) o 15 metros columna de agua (mca).
- **Presión estática máxima:** 0.60 MPa (6.0 bar) o 60 mca; superar este valor requiere instalar válvulas reductoras de presión.

Para las presiones mínimas específicas requeridas por cada aparato sanitario, puede consultarse la **Tabla 6** incluida en el apartado anterior [20, 26, 22].

##### 7.4.4.2. Factor de simultaneidad

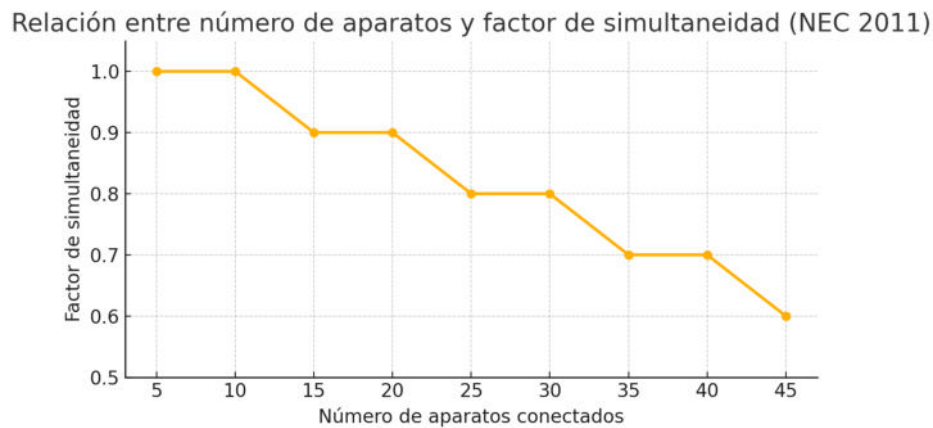
La NEC indica que no todos los aparatos consumen agua al mismo tiempo, por lo que se aplica un *factor de simultaneidad*. La Tabla 8 resume estos valores:

**Tabla 8.** Factores de simultaneidad según cantidad de aparatos conectados

Número de aparatos	Factor de simultaneidad
1 a 10	1.0
11 a 20	0.9
21 a 30	0.8
31 a 40	0.7
Más de 40	0.6

La **Figura 9** muestra la evolución del factor de simultaneidad recomendado por la NEC 2011 en función del número de aparatos, evidenciando su disminución progresiva a medida que aumenta el tamaño de la red, con el objetivo de optimizar los caudales de diseño.

**Figura 9.** Curva del factor de simultaneidad en función del número de aparatos conectados. Elaboración propia con base en la NEC 2011.



#### 7.4.4.3. Importancia de los métodos de cálculo

La adecuada aplicación de estos métodos permite garantizar que la red interior funcione de manera eficiente y segura, evitando sobrepresiones, caudales insuficientes o fallos en los equipos de bombeo [22, 36, 38].

## 7.5. Clasificación de edificaciones y tipologías hidráulicas

El diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable exige conocer con detalle las características funcionales, normativas y técnicas que diferencian a cada tipo de edificación. Estos aspectos inciden en la selección del sistema de suministro, el cálculo de los caudales de diseño, la definición de reservas y la elección de los materiales de la red interior [22, 18, 40].

### 7.5.1. Clasificación de edificaciones según uso

Las edificaciones pueden agruparse en categorías principales, en función de su destino y las demandas de servicio:

- **Residenciales:** Comprenden viviendas unifamiliares, edificios multifamiliares, condominios y conjuntos habitacionales, caracterizados por consumos moderados y uso principalmente doméstico. La **Figura 10** muestra un ejemplo típico de edificación residencial.

**Figura 10.** Edificio Residencial. Fuente:[6]



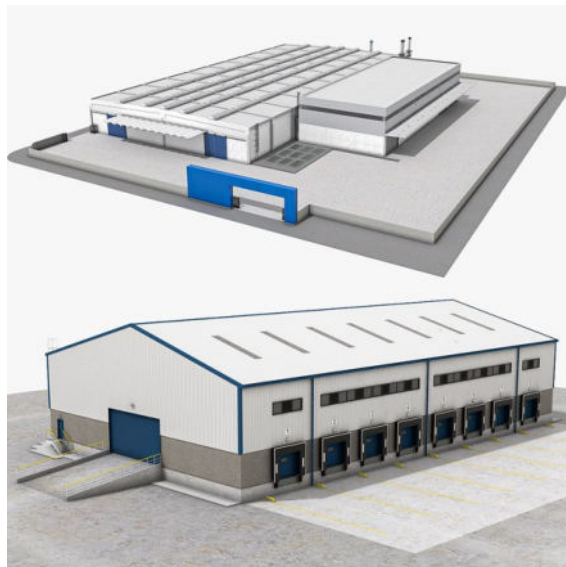
- **Comerciales:** Incluyen locales de atención al público, oficinas, restaurantes y hoteles, con requerimientos de presión y caudal variables según el horario de operación. En la **Figura 11** se presenta un ejemplo de este tipo de edificación.

**Figura 11.** Edificio Comercial. Fuente:[7]



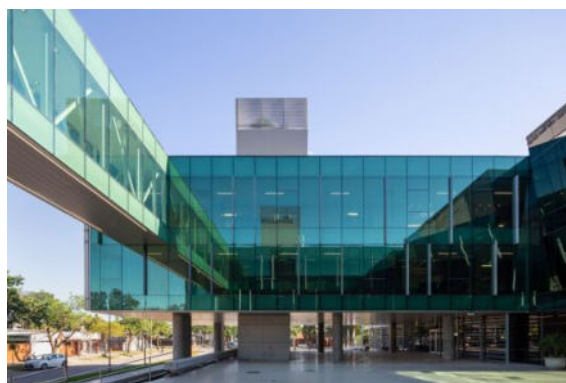
- **Industriales:** Plantas productivas y talleres que demandan caudales específicos para procesos y consumos de servicio. La **Figura 12** ilustra una edificación industrial típica.

**Figura 12.** Edificio Industrial. Fuente:[8]



- **Institucionales:** Hospitales, centros educativos, edificios administrativos, donde se prioriza la disponibilidad continua y la reserva sanitaria. En la **Figura 13** se observa un ejemplo de edificio institucional.

**Figura 13.** Edificio Institucional. Fuente:[9]



La clasificación del uso permite definir la simultaneidad, la dotación diaria y la capacidad de almacenamiento mínimo requerida en cada caso [40, 41, 42]. La **Tabla 9** sintetiza esta clasificación, proporcionando una referencia clara para determinar las condiciones hidráulicas básicas en cada tipo de edificación.

**Tabla 9.** Clasificación general de edificaciones según uso principal

<b>Categoría</b>	<b>Descripción</b>
Residencial	Viviendas, departamentos, conjuntos
Comercial	Oficinas, tiendas, hoteles, restaurantes
Industrial	Fábricas, bodegas, talleres
Institucional	Hospitales, escuelas, edificios públicos

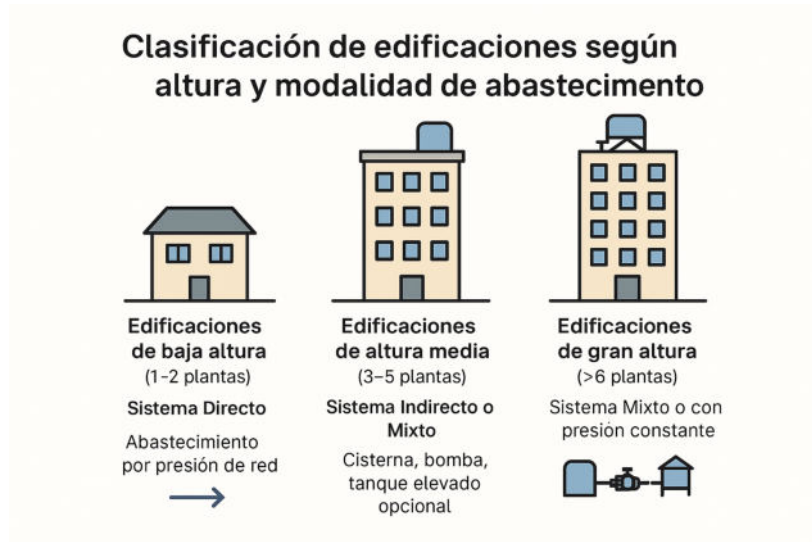
### 7.5.2. Clasificación según altura y número de plantas

El número de niveles determina el régimen de presión interna y condiciona la modalidad de abastecimiento:

- **Edificaciones de baja altura:** Hasta 2 plantas. Usualmente pueden emplear sistemas directos si la presión de red pública es estable y suficiente.
- **Edificaciones de altura media:** Entre 3 y 5 plantas. Requieren sistemas indirectos con cisterna y bomba, o mixtos que combinen alimentación directa en los pisos inferiores y almacenamiento en los superiores.
- **Edificaciones de gran altura:** Más de 6 plantas. Obligan al uso de sistemas con bombeo de presión constante y tanques elevados, garantizando presiones mínimas en los puntos más desfavorables [20, 43].

La **Figura 14** presenta un esquema referencial de clasificación según altura y modalidad de abastecimiento. Este tipo de representaciones facilita la identificación de requisitos normativos y restricciones hidráulicas.

**Figura 14.** Clasificación de edificaciones según altura y modalidad de abastecimiento. Fuente: Elaboración propia

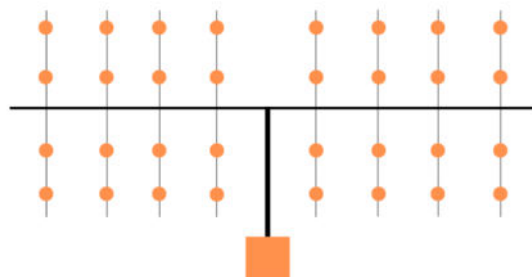


### 7.5.3. Tipologías hidráulicas de abastecimiento

La tipología hidráulica describe la forma en que se organiza la red interior de tuberías para conducir el agua hasta los puntos de consumo. Según la NEC 2011, la NFPA 14 y la literatura especializada, se reconocen tres configuraciones principales [20, 43, 40]:

1. **Red tipo árbol:** Consta de una tubería principal de la cual derivan ramales secundarios. Su simplicidad constructiva la hace económica, pero su principal limitación es la interrupción total del servicio si ocurre una avería en el ramal principal. La **Figura 15** muestra la configuración típica de un sistema tipo árbol.

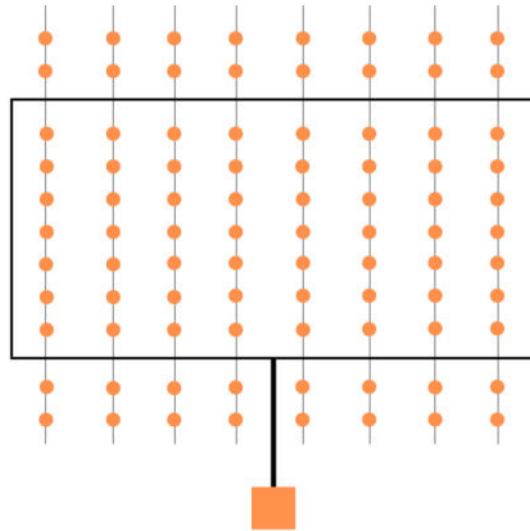
**Figura 15.** Trazo tipo Árbol. Fuente:[10]



2. **Red tipo Loop o de Anillo:** Forma un circuito cerrado que mejora la uniformidad de presión y garantiza continuidad de servicio al permitir doble alimentación. Es más

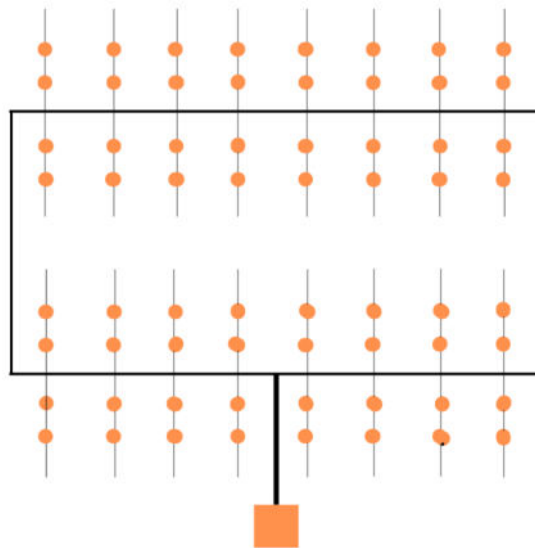
recomendable en edificaciones comerciales e institucionales de mayor superficie. La **Figura 16** ilustra un sistema en anillo utilizado comúnmente en edificios de mayor escala.

**Figura 16.** Trazo tipo Loop o de Anillo. Fuente:[10]



3. **Red tipo Parrilla o Cuadrícula:** Presenta múltiples interconexiones que generan alta redundancia. Su uso se reserva a instalaciones con exigencias de fiabilidad elevadas, como hospitales, hoteles de gran capacidad y edificaciones críticas. La **Figura 17** representa este tipo de red de alta confiabilidad.

**Figura 17.** Trazo tipo Parrilla o Cuadrícula. Fuente:[10]



La **Tabla 10** presenta una comparación entre estas tres configuraciones, considerando sus ventajas y limitaciones. Esta información es fundamental para elegir el sistema más adecuado en función del contexto del proyecto.

**Tabla 10.** Comparación de configuraciones de red de distribución interior

<b>Configuración</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>
Árbol	Bajo costo y sencillez de instalación	Menor flexibilidad operativa
Anillo	Mejor distribución de presión y continuidad de servicio	Mayor costo y complejidad
Parrilla	Máxima seguridad de suministro y redundancia	Costo más elevado y mayor control técnico

### **7.5.3.1. Importancia de la tipología de red hidráulica**

La adecuada identificación de la tipología y clasificación de la edificación es esencial para:

- Dimensionar diámetros de tuberías conforme a la demanda simultánea.
- Seleccionar materiales y accesorios compatibles con la presión y el caudal esperados.
- Garantizar la continuidad y seguridad del servicio, especialmente en usos críticos.

La selección de una configuración de red adecuada contribuye al cumplimiento normativo, optimiza recursos y prolonga la vida útil de la instalación [40, 43, 42].

## **7.6. Componentes del sistema de abastecimiento de agua potable**

El sistema de abastecimiento de agua potable en edificaciones multifamiliares comprende diversos elementos que trabajan de manera integrada para garantizar un servicio continuo, seguro y de calidad. A continuación se describen y comparan sus principales componentes, considerando criterios técnicos y normativos vigentes [22, 20, 40].

### **7.6.1. Elementos de almacenamiento**

Estos elementos desempeñan un papel esencial en la confiabilidad del sistema, ya que permiten disponer de un volumen de reserva adecuado y mantener la presión de servicio aun en situaciones de corte o variación de la red pública. La cisterna constituye el depósito principal, dimensionado para cubrir el consumo diario promedio y garantizar la captación

inicial del agua potable. El tanque elevado, por su parte, proporciona presión estática mediante gravedad y permite alimentar la red interna sin depender de la bomba en todo momento, lo que incrementa la seguridad operativa. Finalmente, el tanque hidroneumático es una alternativa tecnológica que combina un volumen limitado con un sistema de presurización automática mediante aire comprimido, optimizando el uso del espacio disponible y reduciendo los ciclos de encendido de los equipos de bombeo. La elección de cada componente debe basarse en el análisis de consumo, altura manométrica, restricciones normativas y condiciones de mantenimiento, asegurando que la instalación cumpla con las exigencias de salubridad, eficiencia y continuidad del servicio [20, 22, 40].

La **Tabla 11** presenta los tipos de depósitos, materiales habituales y su función principal.

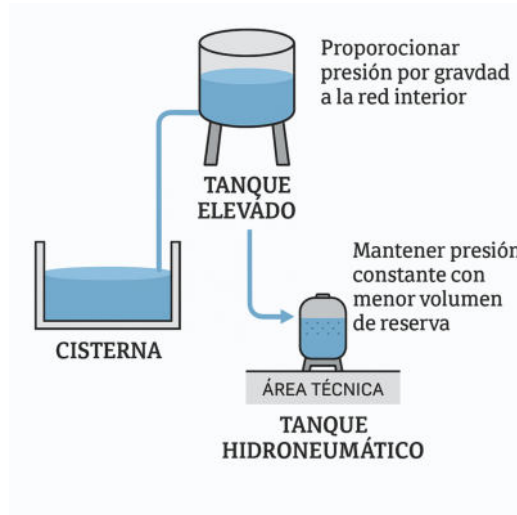
**Tabla 11.** Tipos de depósitos de almacenamiento

<b>Elemento</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Materiales comunes</b>	<b>Función</b>
Cisterna	Subterránea o planta baja	Hormigón armado, polietileno certificado	Almacenar volumen de reserva y recibir el suministro de red pública
Tanque elevado	Nivel superior o cubierta	Hormigón armado, acero inoxidable, PRFV	Proporcionar presión por gravedad a la red interior
Tanque hidroneumático	Planta baja o sótano técnico	Acero con membrana interna	Mantener presión constante con menor volumen de reserva

El diseño de los sistemas de abastecimiento debe contemplar la capacidad de almacenamiento de agua potable suficiente para cubrir al menos un día de consumo. Según la NEC 2011, este volumen debe corresponder al consumo promedio diario de la edificación, dividido en un 60% destinado a la cisterna (almacenamiento inferior) y un 40% al tanque elevado (almacenamiento superior) [20].

La **Figura 18** representa los elementos básicos de almacenamiento utilizados en edificaciones: cisterna subterránea y tanque elevado, elementos clave para garantizar la continuidad del servicio ante cortes o fallos temporales en la red pública.

**Figura 18.** Tipos de depósitos de almacenamiento. Fuente: Elaboración propia



### 7.6.2. Sistemas de bombeo

Los sistemas de bombeo impulsan el agua desde la cisterna hacia la red de distribución o tanques elevados. La **Tabla 12** sintetiza las tipologías principales.

**Tabla 12.** Características comparativas de sistemas de bombeo

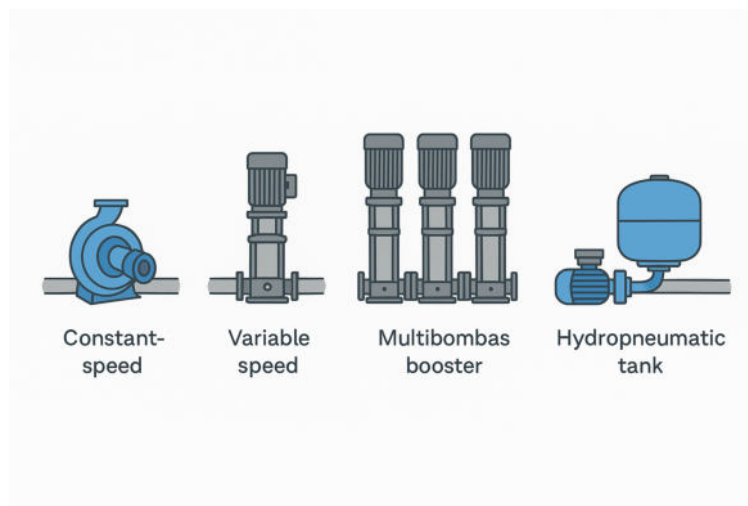
Sistema	Ventajas	Limitaciones	Aplicaciones habituales
Velocidad constante	Costo inicial reducido, instalación simple	Presión variable según demanda	Edificios pequeños y medianos
Velocidad variable	Presión constante, ahorro energético	Mayor complejidad técnica	Edificaciones multifamiliares y comerciales
Multibombas	Redundancia operativa, fiabilidad elevada	Requiere control y sincronización	Hospitales, hoteles, edificios críticos
Tanque hidroneumático	Minimiza ciclos de arranque y paro	Capacidad limitada de reserva	Viviendas y conjuntos habitacionales

Para garantizar un funcionamiento eficiente del sistema de abastecimiento, es fundamental una correcta selección del equipo de bombeo. Esta elección debe considerar el caudal máximo

simultáneo, la altura manométrica total, las pérdidas de carga en la red y la disponibilidad energética de la edificación [34, 40].

La **Figura 19** muestra algunos de los tipos de bombas comúnmente utilizados en edificaciones, entre ellos las bombas centrífugas horizontales, verticales y sistemas con variador de frecuencia, los cuales permiten una operación más eficiente y adaptada a las necesidades específicas de presión y caudal.

**Figura 19.** Tipos de Bombas. Fuente: Elaboración propia



### 7.6.3. Materiales comunes en redes hidráulicas

La red de tuberías es responsable de transportar el agua hasta los puntos de consumo. La **Tabla 13** recoge los materiales permitidos según normativa.

**Tabla 13.** Materiales comunes en tuberías de abastecimiento

Material	Características principales
PVC presión clase 10 o superior	Resistente a corrosión, bajo peso
CPVC	Alta resistencia térmica
Polipropileno (PPR)	Fácil instalación y soldadura térmica
Acero galvanizado interior	Alta resistencia mecánica
Cobre	Larga vida útil, resistencia bacteriana

#### 7.6.4. Accesorios y dispositivos complementarios

Para asegurar la correcta operación, se instalan accesorios que permiten control, medición y protección del sistema. La **Tabla 14** muestra los más habituales.

**Tabla 14.** Accesorios principales en redes de abastecimiento

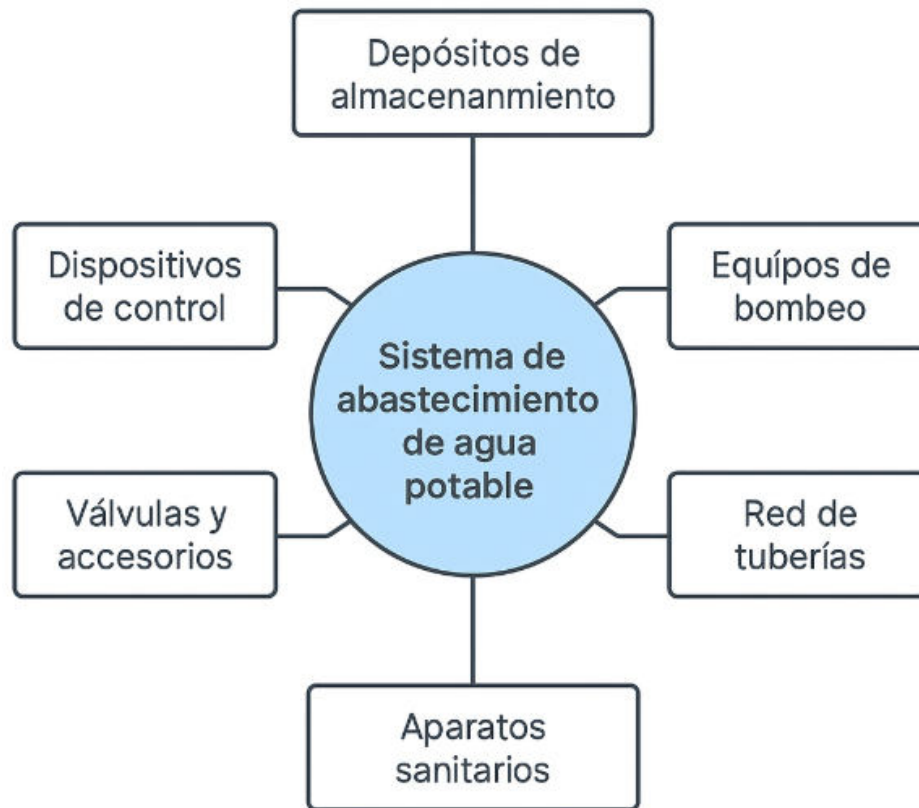
<b>Accesorio</b>	<b>Función</b>
Válvula de retención	Evitar el flujo inverso hacia la bomba
Válvula de compuerta	Permitir aislamiento de sectores
Válvula de alivio	Liberar sobrepresiones transitorias
Manómetro	Medir presión de operación
Interruptor de presión	Controlar arranque y paro automático
Purgador automático	Evacuar aire atrapado en la red

##### 7.6.4.1. Importancia de los componentes

El diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable implica integrar correctamente diversos elementos como tuberías, válvulas, medidores, bombas y depósitos. La correcta selección, dimensionamiento e instalación de estos componentes es clave para cumplir con los requisitos normativos, asegurar confort y optimizar la vida útil del sistema [22, 40].

La **Figura 20** presenta un esquema referencial que ilustra la disposición típica de estos componentes en una red interior de agua potable, desde el punto de conexión con la red pública hasta los artefactos de consumo final.

**Figura 20.** Esquema referencial de componentes del sistema de abastecimiento de agua potable.  
Fuente: Elaboración propia



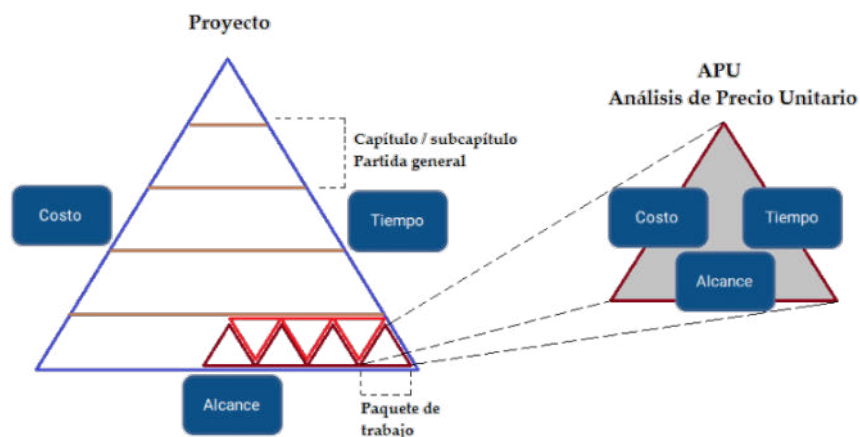
### 7.7. Estimación de costos y análisis de precios unitarios

El análisis de precios unitarios (APU) constituye una herramienta fundamental en la planificación, presupuesto, ejecución y control de proyectos de instalaciones hidráulicas. Este procedimiento permite estimar de forma sistemática los costos directos e indirectos asociados a cada partida o actividad, asegurando que el presupuesto sea coherente con las condiciones del mercado y los requerimientos técnicos del proyecto [19, 44].

De acuerdo con la teoría de la triple restricción, el costo, el tiempo y el alcance se interrelacionan estrechamente, por lo que el APU facilita una gestión equilibrada de estos factores y contribuye al cumplimiento de los objetivos globales del proyecto [40].

La **Figura 21** ilustra la estructura general de un análisis de precios unitarios, desglosando los componentes que intervienen en la estimación del costo de una partida, como materiales, mano de obra, equipos y costos indirectos.

**Figura 21.** Análisis de Precios Unitarios (APU). Fuente:[11]



#### 7.7.0.1. Componentes principales del APU

La metodología del APU contempla el análisis detallado de los siguientes elementos:

- **Materiales:** Todos los insumos requeridos, incluyendo tuberías, válvulas, accesorios, bombas y elementos de sujeción.
- **Mano de obra:** Personal calificado necesario para las labores de instalación, pruebas y puesta en marcha.
- **Equipos y herramientas:** Maquinaria, elevadores, herramientas menores y equipos auxiliares indispensables en la ejecución.
- **Costos indirectos y utilidad:** Porcentaje destinado a imprevistos, gastos generales de administración, seguros y utilidad del contratista.

La correcta definición de estos componentes reduce el riesgo de sobrecostos y facilita la comparación objetiva entre diferentes propuestas [32, 44].

#### 7.7.0.2. Metodología de descomposición del trabajo

Para alcanzar estimaciones más precisas, se recomienda aplicar la técnica de descomposición del trabajo, que consiste en dividir el proyecto en fases y paquetes de trabajo cada vez más específicos (capítulos, subcapítulos y partidas). Este enfoque metodológico asegura que:

- Cada actividad quede definida con claridad y nivel de detalle suficiente.

- La identificación de insumos y cantidades sea más exacta.
- Se minimicen interpretaciones subjetivas en la ejecución [40].

#### **7.7.0.3. Factores que inciden en el costo**

Entre los principales factores que influyen en la estimación destacan:

- La complejidad técnica de la instalación (por ejemplo, sistemas presurizados o mixtos).
- La altura y superficie de la edificación.
- La localización geográfica y logística de transporte.
- Las condiciones del mercado y disponibilidad de materiales.
- Las especificaciones de calidad y normativa aplicable [22, 20].

#### **7.7.0.4. Aspectos clave de la especificación técnica**

La Norma Ecuatoriana de la Construcción y las buenas prácticas recomiendan que los documentos técnicos respondan, como mínimo, a las siguientes cuestiones:

- ¿Cómo se realiza el trabajo?
- ¿Quién ejecuta cada fase?
- ¿Con qué insumos y equipos se desarrollan las actividades?
- ¿Qué incluye y qué no incluye el alcance de la partida?
- ¿Cuál es la calidad esperada?

La claridad de estos puntos es esencial para disminuir riesgos de interpretaciones o controversias en obra [40].

### 7.7.0.5. Beneficios de una estimación detallada

Una estimación de costos rigurosa proporciona:

- Optimización de los recursos económicos.
- Reducción de sobrecostos por imprevistos.
- Transparencia y control en el proceso de contratación y fiscalización.
- Mayor certidumbre en la programación financiera.

Además de proporcionar una estimación detallada de los costos, el análisis de precios unitarios (APU) permite gestionar adecuadamente los recursos del proyecto en sus distintas etapas. La planificación y control de los costos se apoyan en herramientas gráficas como la que se presenta en la **Figura 22**, donde se evidencia cómo los APU se integran dentro del ciclo de gestión de un proyecto constructivo, desde la presupuestación hasta el control financiero.

**Figura 22.** Análisis de precios unitarios en proyectos de construcción. Fuente:[12]



#### **7.7.0.6. Importancia de la metodología APU**

La aplicación rigurosa del análisis de precios unitarios, junto con una descomposición detallada de los trabajos, constituye una práctica esencial para el éxito de proyectos de abastecimiento de agua potable, asegurando la coherencia entre los objetivos de costo, tiempo y calidad [40, 32].

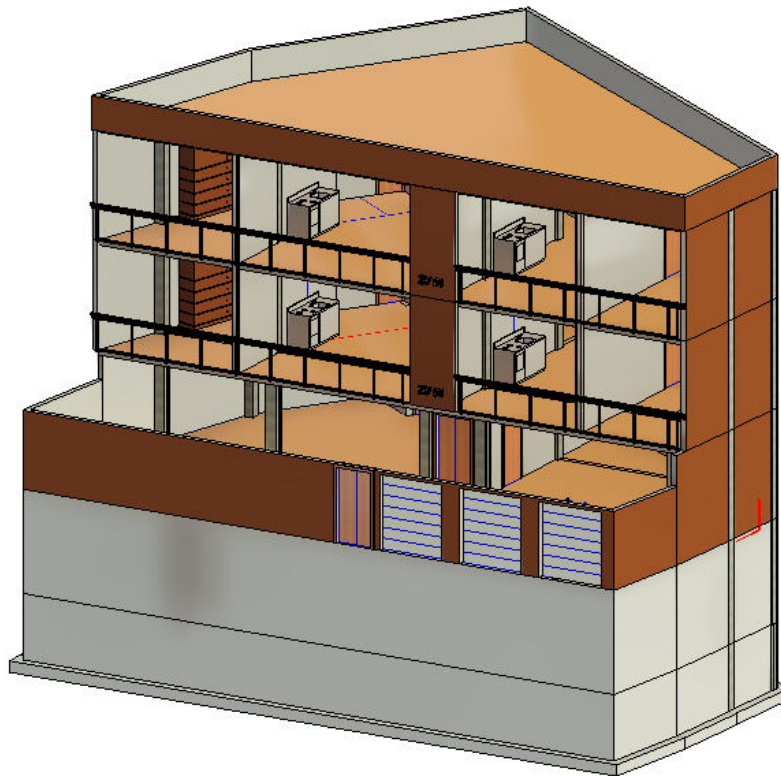
## **8. Metodología**

La metodología de investigación adopta un enfoque cuantitativo orientado al establecimiento de los parámetros técnicos y normativos necesarios para el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en una edificación multifamiliar. Este proceso considera variables físicas, como el número y la disposición de aparatos sanitarios, la altura manométrica requerida, el volumen de almacenamiento y la presión de servicio, así como la clasificación del uso de los espacios y las condiciones específicas del inmueble. La integración de estos factores permite garantizar la continuidad del suministro, la salubridad y el cumplimiento de los estándares establecidos en la NEC 2011 y la NTE INEN 1108.

### **8.1. Establecimiento de condiciones iniciales para el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable**

El proceso de levantamiento de información del edificio base se realizó mediante el análisis de los planos arquitectónicos y su correspondiente modelado tridimensional en Revit. Este modelo permitió identificar con precisión la distribución espacial de los ambientes, la ubicación de los puntos de consumo, y las cotas críticas necesarias para el diseño del sistema hidráulico. La Figura 23 muestra una vista del modelo digital empleado, el cual sirvió como base para la planificación de la red de abastecimiento.

**Figura 23.** Edificación modelado en Revit



### **8.1.1. Condiciones generales de la edificación**

La edificación objeto de estudio corresponde a un inmueble de uso mixto residencial y comercial, ubicado en la parroquia Yanuncay, ciudad de Cuenca, provincia del Azuay. Cuenta con un subsuelo técnico y tres niveles principales sobre nivel cero, destinados a locales comerciales, viviendas y áreas de servicio.

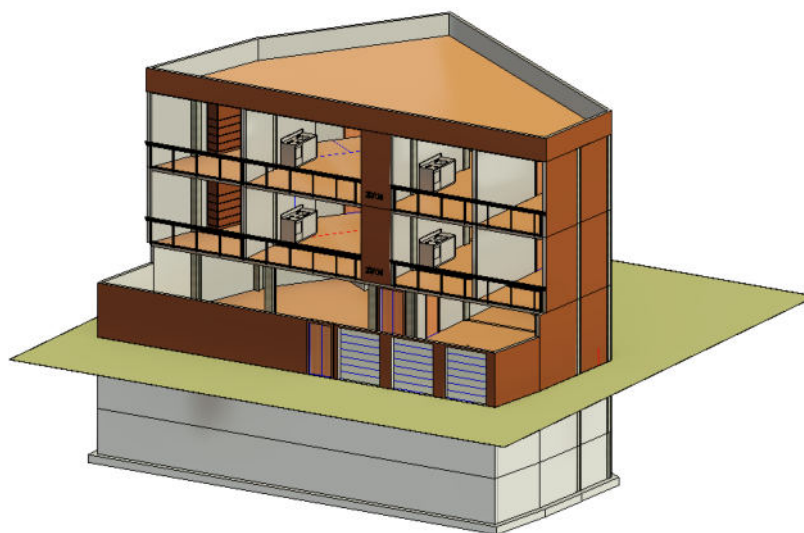
La **Tabla 15** presenta un resumen de los datos constructivos principales.

**Tabla 15.** Características generales de la edificación

<b>Aspecto</b>	<b>Descripción</b>
Área total del terreno	184.90 m <sup>2</sup>
Área construida bruta	515.90 m <sup>2</sup>
Número de niveles	Subsuelo + Planta baja + Primera planta + Segunda planta
Altura total sobre nivel cero	8.90 m
Altura del subsuelo respecto a nivel cero	-2.75 m
Uso principal	Comercial (planta baja) y residencial (plantas superiores)
Número de locales comerciales	2 locales en planta baja
Número de unidades de vivienda	4 departamentos en plantas altas
Elementos de almacenamiento previstos	Cisterna y sistema de bombeo ubicada en subsuelo técnico
Sistema de bombeo previsto	Sistema de presión constante con tablero

La **Figura 24** muestra la vista general del modelado realizado en software Revit, que facilitó la identificación de los aparatos sanitarios y la geometría espacial para el análisis de caudales y presiones.

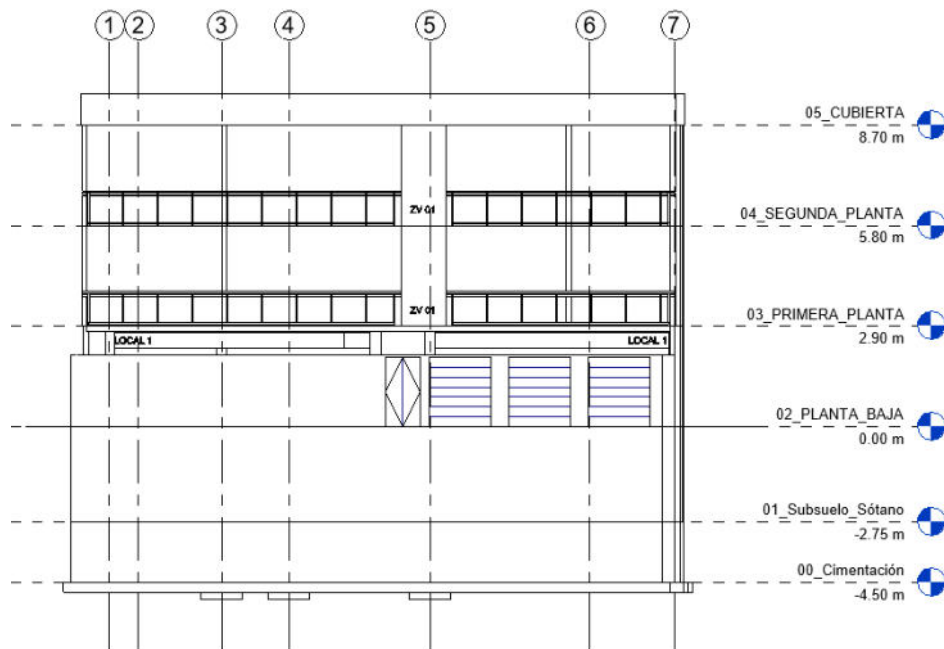
**Figura 24.** Vista general del modelado BIM de la edificación



### 8.1.2. Análisis por niveles de la edificación

Para el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable, se llevó a cabo un análisis minucioso de cada nivel de la edificación, identificando no solo la distribución funcional de los espacios, sino también la altura entre plantas y la ubicación de los aparatos sanitarios. Esta información resulta fundamental para el cálculo de presiones disponibles, pérdidas de carga y determinación de alturas manométricas. La **Figura 25** muestra los niveles de altura por planta, los cuales fueron considerados como referencia en los cálculos hidráulicos.

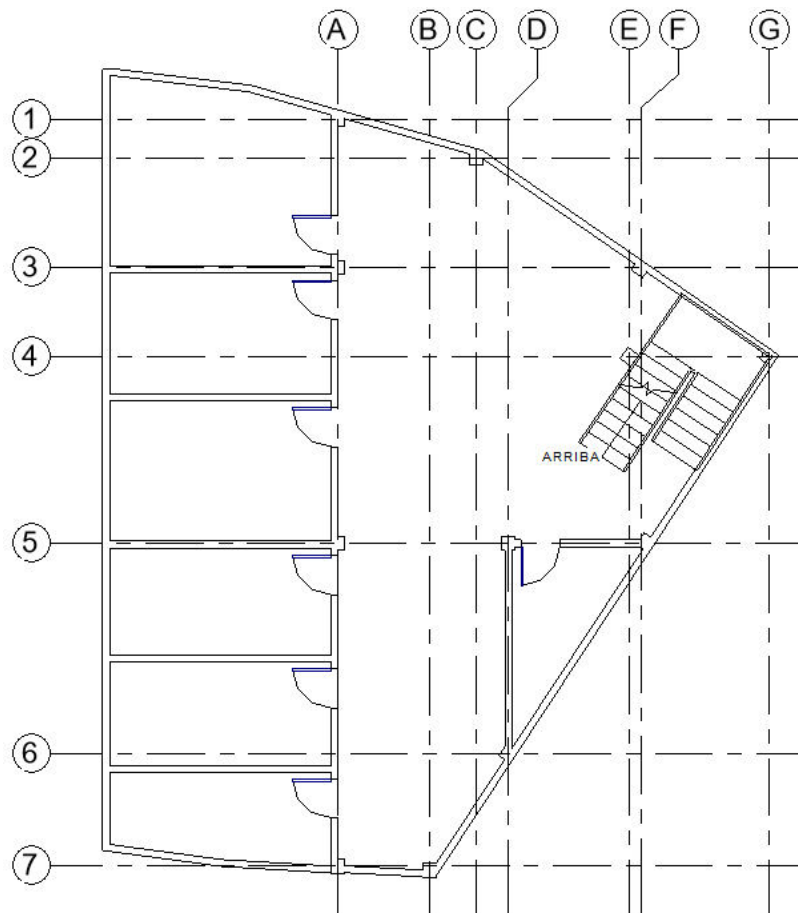
**Figura 25.** Niveles de altura de cada planta



#### 8.1.2.1. Subsuelo

La **Figura 26** ilustra la vista en planta del nivel de subsuelo, el cual se encuentra a una cota de -2.75 m respecto al nivel cero de la edificación. En este nivel se localizan las bodegas y, de forma estratégica, el cuarto de máquinas, que albergará la cisterna y el sistema de bombeo. Aunque no existen aparatos sanitarios en este piso, su relevancia radica en el rol clave que cumple dentro del sistema de abastecimiento, ya que desde este punto se gestiona el almacenamiento y la impulsión del agua hacia los niveles superiores.

**Figura 26.** Vista de planta del subsuelo y ubicación del cuarto de máquinas



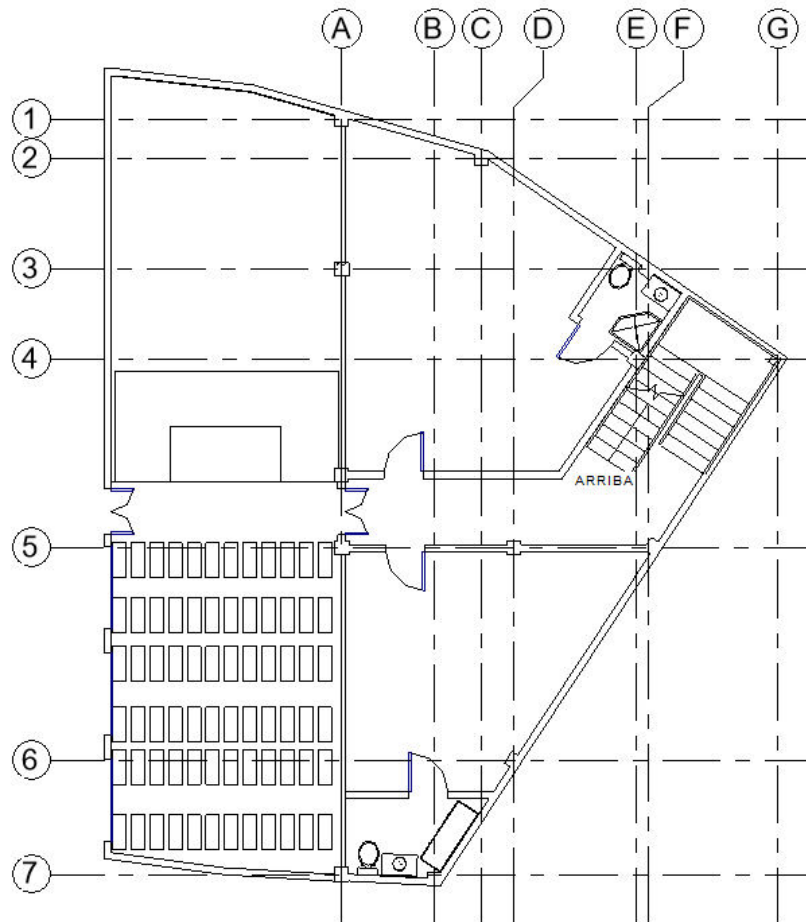
### 8.1.2.2. Planta baja

Este nivel alberga dos locales comerciales con servicios higiénicos independientes. Cada local dispone de aparatos que determinan una demanda básica de agua potable:

- Local comercial 1: Lavabo, inodoro con depósito y ducha.
- Local comercial 2: Lavabo e inodoro con depósito.

La dotación total de esta planta se definirá conforme a los valores establecidos en la NEC 2011 y NTE INEN 1108. La **Figura 27** presenta la vista de planta baja de la edificación.

**Figura 27.** Vista de planta baja con distribución de locales y servicios sanitarios



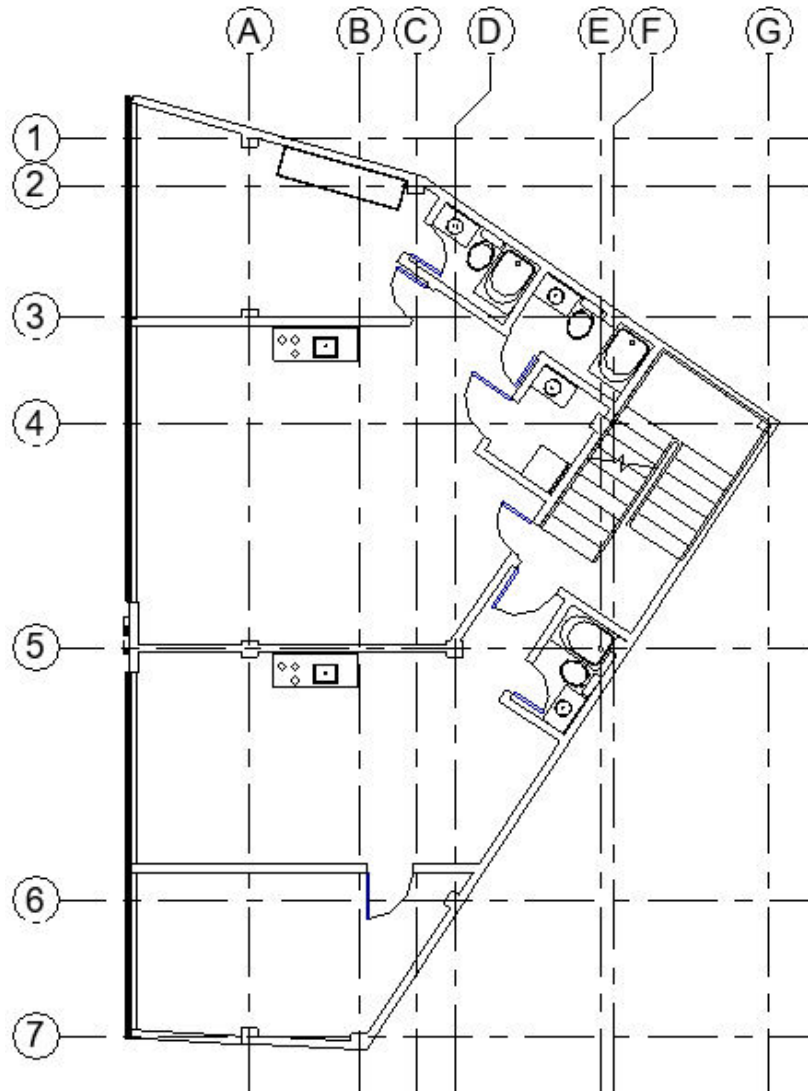
### 8.1.2.3. Primera planta

La primera planta, de uso residencial, cuenta con áreas de cocina, dormitorios, lavandería y baños. Este nivel incorpora múltiples puntos de consumo simultáneo:

- 2 fregaderos de cocina.
- 4 lavabos.
- 3 inodoros con depósito.
- 3 duchas.
- 1 lavadora.

La **Figura 28** muestra la distribución arquitectónica de la primera planta, destinada al uso residencial.

**Figura 28.** Vista de primera planta con distribución de aparatos sanitarios

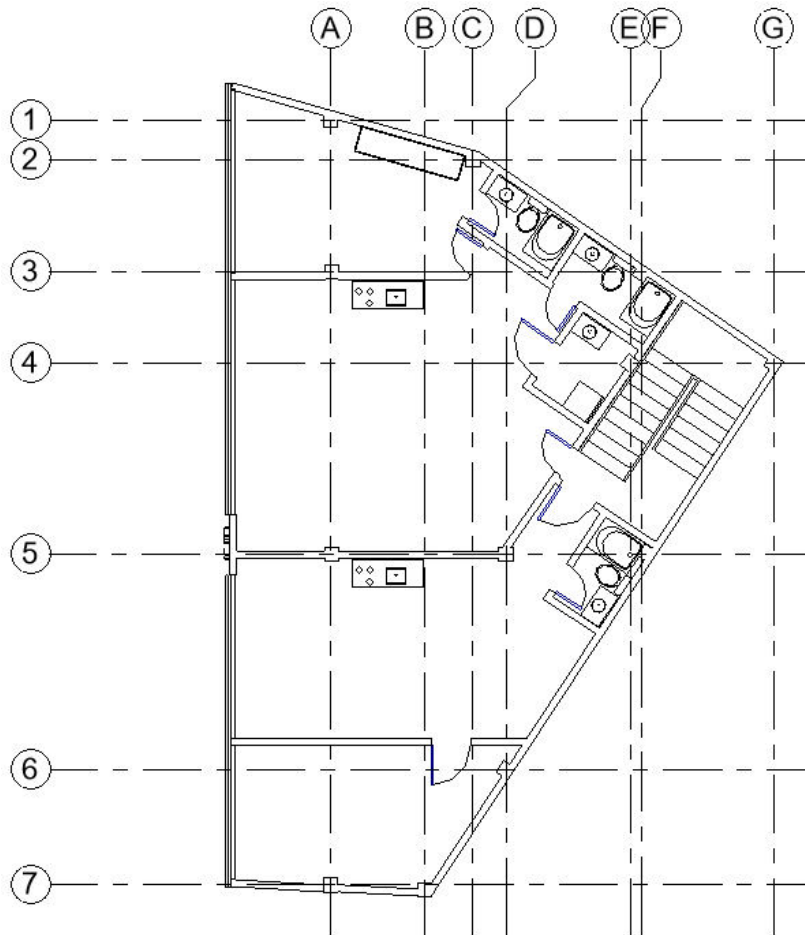


#### 8.1.2.4. Segunda planta

La segunda planta replica la distribución funcional y tipológica de la primera planta, manteniendo la misma cantidad de aparatos sanitarios y áreas de uso doméstico. Este diseño simétrico permite simplificar la estimación de caudales por nivel.

La **Figura 29** representa la segunda planta de la edificación, la cual replica fielmente la distribución arquitectónica de la primera planta.

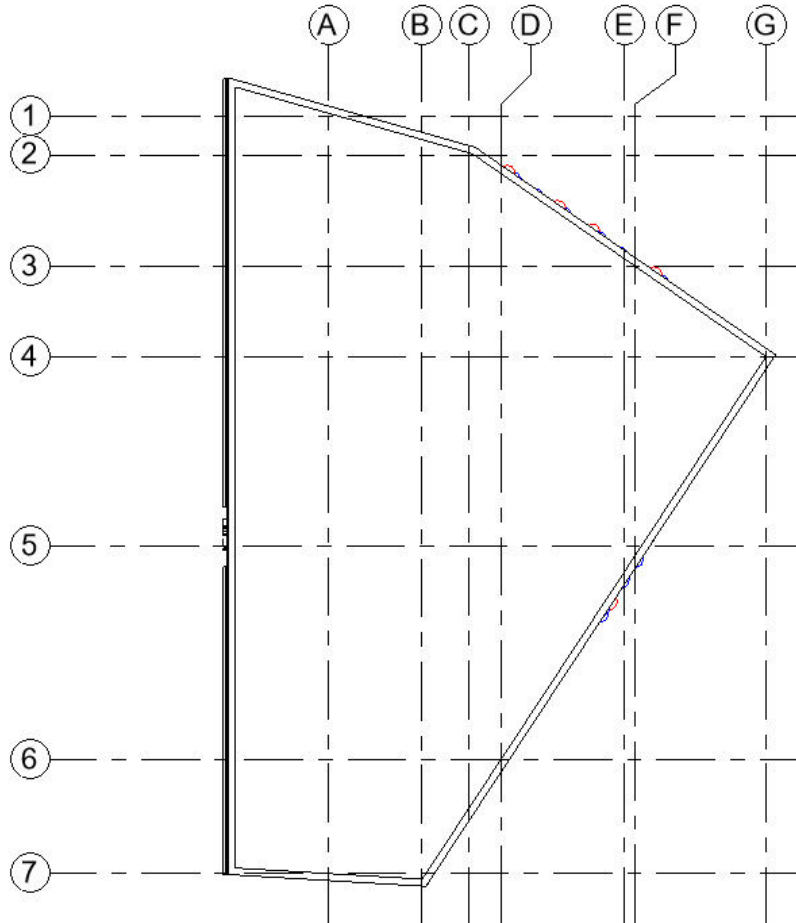
**Figura 29.** Vista de segunda planta con disposición de espacios y aparatos



#### 8.1.2.5. Cubierta

La cubierta se encuentra a una altura de 8.90 m respecto al nivel cero (planta baja) y constituye un espacio estratégico dentro del diseño hidráulico. En este nivel es posible incorporar elementos como un tanque elevado para abastecimiento por gravedad o sistemas de captación y evacuación de aguas lluvias. La **Figura 30** muestra la vista superior de la cubierta, cuya disposición permite una distribución técnica eficiente sin interferir con el uso habitacional de los niveles inferiores.

**Figura 30.** Vista de cubierta



### 8.1.3. Superficies de ambientes por planta

Con el propósito de complementar la caracterización de la edificación, en la **Tabla 16** detalla las superficies de cada ambiente según el levantamiento arquitectónico realizado en Autodesk Revit. Estos datos permiten dimensionar adecuadamente los consumos, la capacidad de almacenamiento y la distribución de redes, considerando la ocupación potencial y la actividad predominante en cada zona.

**Tabla 16.** Superficies de ambientes por planta

<b>Planta</b>	<b>Ambiente</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Subsuelo	Bodega 1	18.57
Subsuelo	Bodega 2	12.88
Subsuelo	Bodega 3	14.88
Subsuelo	Bodega 4	11.40
Subsuelo	Bodega 5	10.91
Subsuelo	Bodega 6	9.05
Subsuelo	Habitación 7	35.61
Subsuelo	Cuarto de máquinas	6.41
Planta Baja	Local comercial 1	37.44
Planta Baja	Local comercial 2	26.37
Planta Baja	Área verde	41.68
Planta Baja	Baño 1	2.62
Planta Baja	Baño 2	4.52
Primera Planta	Dormitorio 1	15.73
Primera Planta	Dormitorio 2	16.73
Primera Planta	Comedor 1	29.16
Primera Planta	Comedor 2	39.88
Primera Planta	Baño 1	2.43
Primera Planta	Baño 2	2.61
Primera Planta	Baño 3	2.75
Primera Planta	Baño 4	2.93
Segunda Planta	Misma distribución que Primera Planta	109.49 (área equivalente)
<b>TOTAL SUPERFICIE CONSTRUIDA</b>		<b>515.90</b>

#### 8.1.4. Variables cuantitativas requeridas

La **Tabla 17** presenta los parámetros técnicos esenciales que servirán como base para el dimensionamiento del sistema de abastecimiento de agua potable, considerando las características específicas de la edificación, su uso mixto y los criterios establecidos por la NEC 2011 y la NTE INEN 1108.

**Tabla 17.** Variables cuantitativas consideradas en el diseño del sistema de abastecimiento

<b>Variable</b>	<b>Valor de referencia</b>	<b>Normativa o criterio aplicado</b>
Dotación diaria de consumo	150 L/persona/día (uso residencial)	NTE INEN 1108, Tabla 1
Presión mínima de servicio	1,5 bar (15 m.c.a.)	NEC 2011, NHE-agua, Art. 16.4.1
Presión máxima admisible	5 bar (50 m.c.a.)	NEC 2011, NHE-agua, Art. 16.4.1
Velocidad máxima en tuberías	2,5-3 m/s	NEC 2011, Art. 16.4.4
Capacidad de almacenamiento	24 horas de consumo promedio	NTE INEN 1108, Sección 6
Proporción de almacenamiento	60% cisterna, 40% tanque elevado	NEC 2011, Art. 16.5
Altura manométrica de bombeo	Altura geométrica + pérdidas por fricción + Presión en el artefacto mas desfavorable	Cálculo proyectual basado en planos arquitectónicos
Número total de aparatos sanitarios	31 unidades	Levantamiento en Revit
Caudal simultáneo máximo estimado	A determinar por método de simultaneidad (Hunter o equivalente)	NEC 2011, Art. 16.4.2
Caudal de bombeo	Mínimo igual a la demanda simultanea de todos los aparatos	Buenas prácticas AWWA Manual M32
Pérdidas por fricción esperadas	10-20% del total de la altura manométrica	NEC 2011, Art. 16.4.3
Materiales permitidos de tubería	PVC presión, CPVC, PPR, cobre, acero galvanizado interior	NTE INEN 1108, Tabla de materiales
Volumen mínimo de reserva contra interrupción	No inferior a un día de dotación	NTE INEN 1108, Art. 6.3
Temperatura de diseño agua fría	10–20 °C	NEC 2011, Art. 16.1.1

### 8.1.5. Dotaciones referenciales según uso

La **Tabla 18** recoge los valores típicos de dotación diaria por persona recomendados por la normativa ecuatoriana e internacional, permitiendo clasificar la edificación como de uso mixto y estimar el consumo con criterios conservadores.

**Tabla 18.** Dotaciones mínimas de consumo diario según uso

<b>Uso de la edificación</b>	<b>Dotación mínima (L/persona/día)</b>	<b>Referencia normativa</b>
Residencial	150 - 250	NEC 2011 Capítulo 16, NTE INEN 1108
Oficinas y locales comerciales	50–100	NEC 2011 Capítulo 16, NTE INEN 1108
Industrial ligero	100–150	AWWA Manual M32
Institucional (hospitales, escuelas)	200–300	OMS / OPS

Para efectos de estimación preliminar, se considera una dotación ponderada entre 150 y 250 L/persona/día, de acuerdo con el uso mixto de la edificación.

### 8.1.6. Variables cualitativas consideradas

La **Tabla 19** presenta los criterios cualitativos que se tomarán en cuenta en el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable, considerando aspectos normativos, funcionales y de sostenibilidad que garantizarán la eficacia y la vida útil de la instalación.

**Tabla 19.** Variables cualitativas contempladas en el diseño del sistema

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observaciones y criterios</b>
Cumplimiento normativo	Aplicación de la NEC 2011 Capítulo 16 y NTE INEN 1108	Todas las etapas del proyecto deberán regirse por la normativa vigente en Ecuador.
Uso mixto de la edificación	Actividades residenciales y comerciales	Se requerirá un dimensionamiento que contemple dotaciones diferenciadas y simultaneidad combinada.
Disponibilidad de espacio técnico	Subsuelo destinado a cisterna y cuarto de bombas, cubierta disponible para tanque elevado	Facilita la ubicación de equipos de almacenamiento y bombeo conforme a los criterios de accesibilidad y mantenimiento.
Flexibilidad operativa	Capacidad de un sistema emergente en caso de corte de energía eléctrica (cuarto de baterías o generador)	Aumenta la resiliencia y seguridad del suministro.
Compatibilidad con sistemas de calentamiento	Diseño de redes diferenciadas para agua fría y agua caliente	Permitirá en fases posteriores la incorporación de un sistema de calentamiento mediante calefón.
Sostenibilidad y eficiencia energética	Selección de bombas de alto rendimiento y reducción de pérdidas en red	Se priorizarán componentes que optimicen el consumo energético.
Facilidad de mantenimiento	Instalación de válvulas de seccionamiento y accesos a tanques y bombas	Reducirá tiempos de parada y costos de operación.
Calidad del agua	Garantizar materiales aptos para agua potable y control de riesgos de contaminación	Cumplimiento con NTE INEN 1108 y requisitos de salubridad establecidos por ETAPA EP.
Integración arquitectónica	Disposición de tanques y tuberías sin afectar la estética de la edificación	Especial cuidado en áreas visibles y de uso común.
Adaptabilidad futura	Posibilidad de ampliación del sistema ante incremento de demanda	Consideración de reserva de capacidad en bombas y tuberías principales.

La **Tabla 19** recoge los principales factores cualitativos que inciden en la definición del sistema de abastecimiento de agua potable en la edificación objeto de estudio. Estos criterios consideran tanto aspectos normativos, como el cumplimiento estricto de la NEC 2011 y la NTE INEN 1108, como elementos funcionales y de sostenibilidad. Entre ellos se destacan la capacidad de operar bajo condiciones de corte de suministro eléctrico, la compatibilidad con sistemas de calentamiento de agua, la facilidad de mantenimiento preventivo y correctivo, así como la integración de los elementos visibles con la arquitectura general del edificio. La adecuada identificación de estas variables cualitativas permitirá proyectar un sistema seguro, eficiente, adaptable a futuras ampliaciones y conforme a las exigencias técnicas y sanitarias vigentes.

## **8.2. Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable**

La edificación multifamiliar objeto de estudio cuenta con las condiciones arquitectónicas y funcionales necesarias para el desarrollo de un sistema técnico de abastecimiento de agua potable. Su distribución en cuatro niveles, que incluye áreas habitacionales, comerciales, espacios de circulación y zonas verdes, requiere una solución eficiente y segura que garantice el suministro continuo del recurso hídrico a todos los puntos de consumo.

Dado el régimen de uso mixto del inmueble, el diseño hidráulico considera criterios de presión mínima, caudal máximo probable y continuidad operativa, conforme a las especificaciones técnicas establecidas por la NEC-11 y otros documentos normativos complementarios. Este diseño busca garantizar el confort de los usuarios, la eficiencia en el uso del agua, y la adecuada integración del sistema con la infraestructura sanitaria y arquitectónica del edificio.

### **8.2.1. Análisis de alternativas de diseño para el sistema de abastecimiento**

En esta sección se presentan las evaluaciones ponderadas para seleccionar las alternativas más adecuadas en el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable de la edificación multifamiliar en estudio. Se consideran factores técnicos, económicos y de adaptabilidad al proyecto. Esta metodología permite justificar objetivamente las decisiones tomadas.

### **8.2.2. Tipo de sistema de abastecimiento**

El edificio en estudio presenta diferentes necesidades de presión y continuidad del servicio entre plantas. La planta baja se abastece directamente de la red pública, mientras que las plantas superiores utilizan un sistema indirecto a través de una cisterna y un equipo de

bombeo de presión constante. Esta configuración mixta responde a las limitaciones de presión de la red pública y garantiza un suministro adecuado en todos los niveles.

La **Tabla 20** resume los resultados del análisis comparativo del sistema de abastecimiento.

**Tabla 20.** *Tabla de ponderación para el tipo de sistema de abastecimiento*

<b>Factor de evaluación</b>	<b>Importancia relativa (%)</b>	<b>Directo</b>	<b>Indirecto</b>	<b>Mixto</b>
Costo de instalación	30	5	3	4
Confiabilidad en todas las plantas	30	2	5	5
Facilidad de mantenimiento	20	5	3	4
Adaptabilidad a edificaciones multifamiliares	20	3	4	5
<b>Puntaje total ponderado</b>	<b>100%</b>	<b>370</b>	<b>400</b>	<b>460</b>

De acuerdo con los resultados obtenidos, el sistema mixto obtuvo el mayor puntaje (460 puntos), destacándose por su adaptabilidad, confiabilidad y un balance adecuado entre costo y mantenimiento. Esta elección permite optimizar el abastecimiento de agua en una edificación de varias plantas con usos diferenciados.

### **8.2.3. Configuración de la red de tuberías**

La configuración de red adoptada en el presente proyecto es del tipo *árbol*, caracterizada por su simplicidad y eficiencia en edificaciones de tamaño medio, donde la distribución por ramales independientes permite un diseño más ordenado y predecible.

La **Tabla 21** resume los resultados del análisis comparativo del sistema de red de tuberías.

**Tabla 21.** *Tabla de ponderación para la configuración de red de tuberías*

<b>Factor de evaluación</b>	<b>Importancia relativa (%)</b>	<b>Árbol</b>	<b>Malla</b>	<b>Anillo</b>
Costo de instalación	40	5	3	4
Facilidad de mantenimiento	30	4	3	4
Eficiencia para edificios medianos	20	5	4	5
Compatibilidad con el diseño arquitectónico	10	5	3	4
<b>Puntaje total ponderado</b>	<b>100%</b>	<b>480</b>	<b>340</b>	<b>430</b>

El sistema tipo *árbol* obtiene el puntaje más alto (480), lo que confirma su idoneidad para el presente proyecto. Este sistema permite un trazado directo y controlado de las líneas de distribución, lo cual se adapta perfectamente a las condiciones arquitectónicas y operativas de la edificación multifamiliar ubicada en Cuenca.

#### **8.2.4. Tipo de material para el sistema de agua fría**

La selección del material de las tuberías para el sistema de agua fría se realizó considerando criterios como costo, durabilidad, facilidad de instalación y compatibilidad con la presión del sistema. Entre los materiales evaluados se encuentran el PVC (Schedule 40), el PEX y el cobre, siendo el PVC el más utilizado por sus buenas propiedades mecánicas, su bajo costo y disponibilidad en el mercado ecuatoriano.

La **Tabla 22** resume los resultados del análisis comparativo del material para sistema de agua fría.

**Tabla 22.** *Tabla de ponderación del material para agua fría*

<b>Factor de evaluación</b>	<b>Importancia relativa (%)</b>	<b>PVC Schedule 40</b>	<b>PEX</b>	<b>Cobre</b>
Costo de instalación	30	5	3	2
Durabilidad	30	4	4	5
Facilidad de instalación	25	5	4	3
Compatibilidad con presión de diseño	15	4	4	5
<b>Puntaje total ponderado</b>	<b>100%</b>	<b>460</b>	<b>390</b>	<b>395</b>

El PVC Schedule 40 se destaca como el material más adecuado para el sistema de agua fría, al presentar un balance ideal entre costo, facilidad de instalación y resistencia para presiones moderadas. Su uso está ampliamente difundido en edificaciones residenciales y cumple con las exigencias de la NEC.

### 8.2.5. Tipo de material para el sistema de agua caliente

El sistema de agua caliente requiere materiales que soporten temperaturas elevadas, presiones internas moderadas y que ofrezcan una vida útil prolongada. En este caso, se evalúa el uso de CPVC, cobre y PEX. El CPVC destaca como la mejor alternativa por su relación costo-beneficio y resistencia térmica.

La **Tabla 23** resume los resultados del análisis comparativo del material para sistema de agua caliente.

**Tabla 23.** *Tabla de ponderación del material para agua caliente*

<b>Factor de evaluación</b>	<b>Importancia relativa (%)</b>	<b>CPVC</b>	<b>PEX</b>	<b>Cobre</b>
Resistencia a temperaturas	35	5	4	5
Costo de instalación	25	4	3	2
Durabilidad	25	4	4	5
Compatibilidad con presión y accesorios	15	5	4	5
<b>Puntaje total ponderado</b>	<b>100%</b>	<b>460</b>	<b>395</b>	<b>455</b>

El CPVC fue seleccionado por su alta resistencia térmica y buena durabilidad, así como por su facilidad de instalación en espacios reducidos. Aunque el cobre presenta ventajas en resistencia, su alto costo lo vuelve menos viable para el presente proyecto.

### 8.2.6. Sistema de bombeo

Para el abastecimiento de las plantas superiores, se optó por un sistema de bombeo de presión constante, compuesto por dos bombas centrífugas: una en operación y otra en reserva. Se evaluaron distintas alternativas como sistemas de presión variable, presión constante y bombas con tanque hidroneumático.

La **Tabla 24** muestra los resultados obtenidos en la matriz de ponderación del sistema de bombeo.

**Tabla 24.** *Tabla de ponderación del sistema de bombeo*

<b>Factor de evaluación</b>	<b>Importancia relativa (%)</b>	<b>Presión constante</b>	<b>Presión variable</b>	<b>Tanque hidroneumático</b>
Estabilidad de presión	30	5	4	3
Costo de instalación	25	4	3	5
Facilidad de mantenimiento	20	4	3	3
Confiabilidad operativa	25	5	4	4
<b>Puntaje total ponderado</b>	<b>100%</b>	<b>460</b>	<b>370</b>	<b>410</b>

El sistema de presión constante obtiene el mayor puntaje gracias a su excelente comportamiento en estabilidad de presión, confiabilidad operativa y facilidad de operación. Además, es el más adecuado para garantizar la continuidad del suministro en edificaciones de altura media como la presente.

### 8.2.7. Diseño hidráulico del sistema de abastecimiento de agua potable

El diseño hidráulico de un sistema de abastecimiento de agua potable parte del cálculo correcto de la demanda diaria del edificio, considerando todos los espacios funcionales y sus usos específicos. Este cálculo es fundamental para dimensionar adecuadamente la cisterna, el equipo de bombeo y las tuberías que conforman la red interna.

La normativa NEC-11 establece en su Capítulo 16 las dotaciones mínimas de agua potable por día, dependiendo del tipo de uso de cada área. Estas dotaciones están expresadas en litros por metro cuadrado por día ( $L/m^2/d$ ) o litros por habitante por día ( $L/hab/d$ ), según corresponda. En este proyecto, se han identificado varias zonas con distintos usos dentro del edificio multifamiliar, como se resume a continuación:

- **Zonas habitacionales:** corresponden a los departamentos en las plantas superiores, cuya dotación se estima en  $200 L/hab/d$ , según NEC-11, Tabla 16.2.
- **Locales comerciales:** se asigna una dotación de  $80 L/m^2/d$  por su uso comercial tipo oficina o tienda.
- **Garajes:** se considera una dotación de  $30 L/m^2/d$  como espacio de bajo consumo.
- **Áreas verdes:** con una dotación de riego promedio de  $5 L/m^2/d$ .
- **Espacios de circulación y bodega:** se incluyen con dotaciones menores o marginales, pero son consideradas para garantizar un dimensionamiento holgado.

A partir del levantamiento arquitectónico y de las superficies definidas en planos, se elaboró la **Tabla 25**, que resume las superficies, las dotaciones normativas y el consumo diario estimado para cada tipo de espacio del edificio.

**Tabla 25.** Dotación diaria de agua potable por tipo de espacio en la edificación

<b>Espacio</b>	<b>Dotación (L/d)</b>	<b>Observaciones</b>
Departamentos (16 personas)	4000	250 L/persona/día
Locales comerciales (2)	2000	Estimado global (uso moderado)
Garajes (3)	150	50 L por unidad
Jardín (41,68 m <sup>2</sup> )	208.4	5 L/m <sup>2</sup> /día
Cuarto de máquinas y bodegas	200	Estimación técnica
<b>Total día normal</b>	<b>6558.4</b>	—
<b>Total con 1 día de reserva (100% extra)</b>	<b>13 116.8</b>	<b>13,12 m<sup>3</sup></b>

Se adopta un margen de seguridad del 100%, considerando un día adicional de consumo en caso de interrupciones del servicio público de agua potable. De este modo, el volumen de almacenamiento requerido para la cisterna se estima en **13.5 m<sup>3</sup>**, lo que garantiza una reserva suficiente para abastecer a todos los usuarios durante al menos 48 horas.

Este valor constituye la base para el diseño de la cisterna y para la selección de las bombas de presión constante, que asegurarán la continuidad del suministro a todos los niveles de la edificación.

### **8.2.8. Dimensionamiento de la cisterna**

El diseño de la cisterna tiene como propósito almacenar el volumen total de agua requerido por la edificación para cubrir una dotación diaria de consumo, más una reserva adicional equivalente a un día. Tal como se obtuvo en la sección anterior, esta demanda asciende a 13 120 litros, es decir, 13,12 m<sup>3</sup>.

Para alojar este volumen de agua, se ha planteado una cisterna de forma paralelepípeda con las siguientes dimensiones internas útiles:

- Largo: 2,50 m
- Ancho: 2 m
- Altura útil: 2,70 m

El volumen geométrico total de la cisterna se calcula con la ecuación:

$$V = L \times A \times H = 2,5 \times 2 \times 2,7 = 13,5 \text{ m}^3 \quad (1)$$

Este volumen otorga un margen de seguridad adicional ante variaciones en la demanda o retrasos en el llenado.

#### **8.2.8.1. Nivel mínimo de agua**

Según recomendaciones técnicas, se considera como nivel mínimo de operación un 15% de la altura total de la cisterna. Para una profundidad de 2,7 m, este valor se calcula como:

$$h_{\text{mín}} = 0,15 \times 2,7 = 0,405 \text{ m} \quad (2)$$

Este nivel mínimo permite garantizar que no se aspire aire en las bombas y se mantenga un margen de seguridad hidráulica.

#### **8.2.8.2. Ubicación de la cisterna**

La cisterna se encuentra integrada dentro del cuarto de máquinas ubicado en el subsuelo del edificio, a una cota de -2,30 m con respecto al nivel cero arquitectónico (planta baja). Esto permite una adecuada conexión por gravedad desde la red pública hacia la cisterna.

#### **8.2.8.3. Horas de abastecimiento y caudal de llenado**

De acuerdo con la NEC-11, el tiempo máximo para el llenado de un sistema de almacenamiento no debe superar las 4 horas\*.

El caudal necesario para abastecer la cisterna en este tiempo se determina con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t \cdot 3600} \quad (3)$$

Donde:

- $Q$  = caudal requerido (L/s)
- $V$  = volumen total a llenar (13 500 L)

---

\*NEC-11, Sección 16.4.1, tiempos de llenado de almacenamiento.

- $t =$  tiempo de llenado (4 h)

Sustituyendo:

$$Q = \frac{13500}{4 \cdot 3600} = 0,94 \text{ L/s} \quad (4)$$

#### 8.2.8.4. Selección del diámetro de la tubería de llenado

Tomando una velocidad recomendada de 1,5 m/s para el llenado desde la red pública (según NEC), se puede calcular el diámetro de la tubería necesaria mediante la ecuación derivada del caudal:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}} \quad (5)$$

Donde:

- $Q = 0,94 \text{ L/s} = 0,00094 \text{ m}^3/\text{s}$
- $V =$  velocidad de diseño = 1,5 m/s

Sustituyendo:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00094}{\pi \cdot 1,5}} = 0,0282 \text{ m} = 28,2 \text{ mm} \quad (6)$$

Este diámetro técnico se redondea al valor comercial inmediato superior más cercano. En este caso, se selecciona un diámetro comercial de **\*\*34,5 mm (1 1/4")\*\***, que asegura un flujo suficiente y reduce las pérdidas de carga por fricción.

Por tanto, la tubería desde la red pública hacia la cisterna será de PVC de 1 1/4, diseñada para un caudal de 0,94 L/s durante un tiempo máximo de llenado de 4 horas, en cumplimiento con lo dispuesto por la NEC-11.

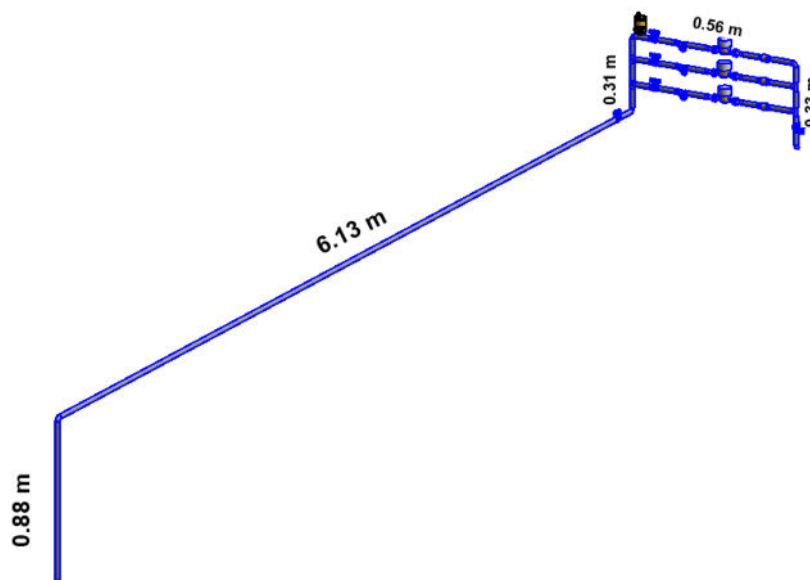
#### 8.2.9. Análisis hidráulico de la acometida hacia la edificación

El sistema de abastecimiento para la planta baja de la edificación se conecta directamente a la red pública mediante tres medidores, uno para cada unidad de planta baja. Esta acometida es instalada generalmente por la empresa prestadora del servicio, en este caso ETAPA EP, desde la red de distribución hasta el punto de medición. Desde ese punto, el sistema interno del predio se diseña según las necesidades del proyecto.

La conexión se realiza a 0,88 m desde la calzada, empleando tubería de 3/4 in, y se asume una presión de entrada de 15 m.c.a. con base en información recopilada en estudios previos sobre el funcionamiento de la red de ETAPA EP en la zona. El objetivo de este análisis es determinar la presión residual en el punto A (ingreso a la red interna de planta baja), considerando pérdidas de carga por fricción, accesorios y desniveles topográficos.

La **Figura 31** presenta el esquema isométrico correspondiente a la acometida de agua potable para la planta baja de la edificación.

**Figura 31.** Isométrico de la Acometida



### 8.2.9.1. Tramo 1-2

Se parte de una presión disponible de entrada de 15 m.c.a.. Para este tramo se realizan los siguientes cálculos:

- **Cálculo del caudal ( $Q$ ):**

La velocidad de diseño adoptada es  $v = 1,5\text{m/s}$ , valor recomendado por la NEC-11. El diámetro interior de la tubería de 3/4in es  $D = 0,0207\text{m}$ .

$$Q = v \cdot A = v \cdot \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \quad (7)$$

$$Q = 1,5 \cdot \left( \frac{\pi \cdot (0,0207)^2}{4} \right) = 0,000504 \text{ m}^3/\text{s} = 0,504 \text{ L/s}$$

- **Cálculo de la longitud equivalente por accesorios ( $L_{eq}$ ):**

Este tramo presenta un (1) codo de 90°, el cual tiene un coeficiente  $Le/D = 45$ . Utilizando la relación de longitud equivalente, se aplica:

$$L_{eq} = N_i \cdot Le_i \cdot D \quad (8)$$

$$L_{eq} = 1 \cdot 45 \cdot 0,0207 = 0,9315 \text{ m} \approx 0,932 \text{ m}$$

Los coeficientes  $Le_i$  para cada accesorio fueron tomados de la tabla técnica de relación longitud equivalente/diámetro, como se muestra en la **Figura 32**.

**Figura 32.** Tabla de Longitudes equivalentes por accesorios

ACCESORIO	Le/D
Codo de 45	20
Codo 90	45
Reduccion	6
Tee paso directo	20
Tee paso de lado y salida bilateral	65
Valvula de compuerta abierta	8
Valvula de globo abierta	350
Valvula de pie con criba	250
Valvula de retencion	100

- **Longitud total del tramo ( $L_{tot}$ ):**

$$L_{tot} = L_{tubería} + L_{eq} = 0,88 + 0,932 = 1,81 \text{ m} \quad (9)$$

- **Pérdida de carga por fricción ( $H_f$ ), según NEC-11 ecuación 16.6:**

$$H_f = K \cdot L_{\text{tot}} \cdot \left( \frac{v^{1,75}}{D^{1,25}} \right) \quad (10)$$

Donde:

- $K = 0,00054$  para tuberías plásticas.
- $v = 1,5m/s$
- $D = 0,0207m$
- $L_{\text{tot}} = 1,81m$

$$H_f = 0,00054 \cdot 1,81 \cdot \left( \frac{1,5^{1,75}}{0,0207^{1,25}} \right) = 0,2533 \text{ m.c.a.}$$

■ **Presión residual final ( $P$ ):**

$$P = P_0 - H_f - h \quad (11)$$

Donde:

- $P_0 = 15m.c.a.$  (presión inicial).
- $h = 0,88m$  (desnivel topográfico).

$$P = 15 - 0,2533 - 0,88 = 13,87 \text{ m.c.a.}$$

El mismo procedimiento se aplica para los tramos siguientes (2-3, 3-4, 4-5 y 5-6), considerando los accesorios presentes y sus respectivas longitudes equivalentes según la tabla de relación  $L_e/D$  para accesorios normados.

La **Tabla 26** resume el análisis detallado de la presión residual para cada tramo de la acometida.

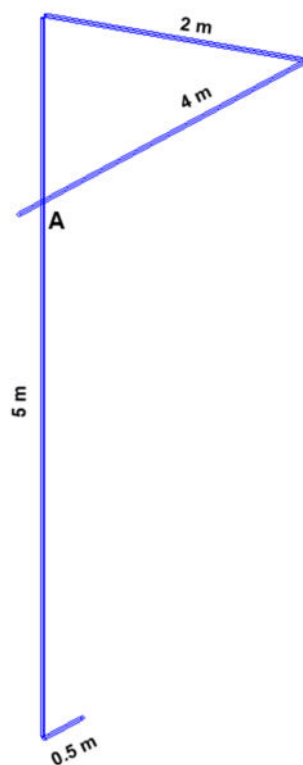
**Tabla 26.** Análisis de presión residual por tramos en la acometida

Tramo	$Q$ (L/s)	$v$ (m/s)	$D_i$ (mm)	$L_{tot}$ (m)	$H_f$ (m)	$h$ (m)	$P$ (m.c.a.)
1-2	0,50	1,50	20,7	1,81	0,2533	0,88	13,87
2-3	0,50	1,50	20,7	7,23	1,0105	0,00	12,86
3-4	0,50	1,50	20,7	2,07	0,2894	0,31	12,26
4-5	0,50	1,50	20,7	20,08	2,8077	0,00	9,45
5-6	0,50	1,50	20,7	4,33	0,6048	-0,33	<b>9,17</b>

### 8.2.10. Análisis hidráulico de la acometida hacia la cisterna

La **Figura 33** muestra el esquema isométrico correspondiente al tramo comprendido entre el punto A y la cisterna, donde se representa la disposición espacial de la tubería, la ubicación de accesorios y los cambios de cota relevantes. Este esquema es clave para visualizar el recorrido hidráulico desde el ingreso del agua a la propiedad hasta su almacenamiento en la cisterna, facilitando el análisis de pérdidas de carga y verificación del cumplimiento de presiones requeridas para un abastecimiento eficiente.

**Figura 33.** Isométrico del tramo A hasta cisterna



### 8.2.10.1. Cálculo del caudal

El caudal se determina a partir del diámetro de tubería comercial adoptado y la velocidad de diseño recomendada. Usando:

$$Q = v \cdot A = v \cdot \left( \frac{\pi D^2}{4} \right)$$

$$Q = 1,5 \text{ m/s} \cdot \left( \frac{\pi \cdot (0,0345 \text{ m})^2}{4} \right) \approx 0,0014 \text{ m}^3/\text{s} = 1,40 \text{ L/s}$$

Este caudal es superior al mínimo requerido (0,94 L/s) para llenar la cisterna en un tiempo máximo de 4 horas, por lo que garantiza un llenado eficiente del volumen total de 13,5 m<sup>3</sup>.

### 8.2.10.2. Cálculo de longitud equivalente por accesorios

La longitud equivalente de este tramo se calcula con:

$$L_{eq} = \sum_{i=1}^n (N_i \cdot L_{e_i} \cdot D)$$

- $N_i$ : número de accesorios del tipo  $i$ .
- $L_{e_i}$ : coeficiente  $L_e/D$  del accesorio según tabla técnica.
- $D = 0,0345 \text{ m}$ .

Para este tramo se tienen 3 codos de 90°:

$$L_{eq} = 3 \cdot 45 \cdot 0,0345 = 4,658 \text{ m}$$

### 8.2.10.3. Pérdida de carga por fricción

Según la ecuación 16.6 de la NEC-11:

$$H_f = K \cdot L_{tot} \cdot \left( \frac{v^{1,75}}{D^{1,25}} \right)$$

- $K = 0,00054$  (para tubería plástica).
- $v = 1,5 \text{ m/s}$ .

- $D = 0,0345$  m.
- $L_{tot} = 11,5 + 4,658 = 16,1575$  m.

$$H_f = 0,00054 \cdot 16,1575 \cdot \left( \frac{1,5^{1,75}}{0,0345^{1,25}} \right) = 1,1930 \text{ m.c.a.}$$

#### 8.2.10.4. Presión residual en entrada a cisterna

$$P = P_0 - H_f - h$$

Donde:

- $P_0 = 9,17$  m.c.a.
- $h = -5$  m (la cisterna está 5 metros por debajo, se suma al ser a favor de gravedad).

$$P = 9,17 - 1,1930 - (-5) = 15,36 \text{ m.c.a.}$$

La **Tabla 27** detalla los resultados del análisis hidráulico para el tramo comprendido entre el punto A y la cisterna.

**Tabla 27.** Análisis hidráulico de la acometida hacia la cisterna

Tramo	$Q$ (L/s)	$v$ (m/s)	$D_i$ (mm)	$L_{tot}$ (m)	$H_f$ (m)	$h$ (m)	$P$ (m.c.a.)
A-Cisterna	1,40	1,50	34,5	16,1575	1,1930	-5,00	<b>15,36</b>

Este resultado confirma que la presión disponible en la entrada de la cisterna es suficiente para garantizar un llenado eficiente y continuo en el tiempo estimado de diseño.

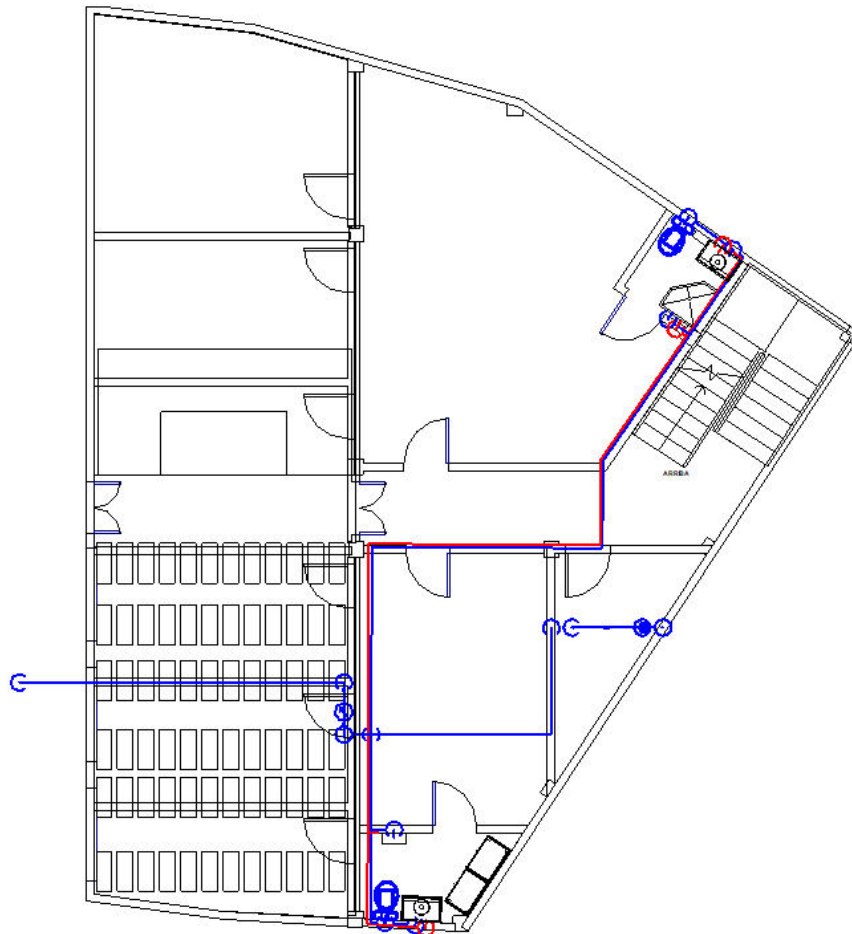
### 8.2.11. Análisis del sistema de agua fría

#### 8.2.11.1. Sistema directo en planta baja

El sistema de agua fría en la planta baja se abastece directamente desde la acometida externa, conectada al punto A, donde se cuenta con una presión inicial de 9,17 m.c.a.. Se han realizado los cálculos siguiendo los lineamientos de la NEC-11, considerando el método de caudales instantáneos y coeficiente de simultaneidad. El objetivo es verificar que todos

los aparatos sanitarios reciban una presión suficiente. En la **Figura 34** se aprecia la red de tubería de la planta baja y de la acometida dirigida a la cisterna.

**Figura 34.** Vista de la red de tubería en Planta Baja



#### 8.2.11.1.1. Identificación del punto crítico

El tramo más desfavorable corresponde a la ducha ubicada en el tramo B-B', debido a su ubicación vertical y horizontal más alejada. Para verificar la presión en ese punto, se realiza el cálculo de manera detallada para el tramo A-B, el cual alimenta a tres artefactos: inodoro, lavabo y ducha.

#### 8.2.11.1.2. Cálculo del caudal instantáneo total

Se suman los caudales instantáneos individuales de los artefactos conectados:

$$\sum q_i = 0,1 + 0,1 + 0,2 = 0,4 \text{ L/s}$$

### 8.2.11.1.3. Cálculo del coeficiente de simultaneidad ( $K_s$ )

Según la NEC-11, el coeficiente de simultaneidad para  $n = 3$  artefactos con factor de uso  $F = 1$  (locales comerciales), se calcula mediante la ecuación (16-3):

$$K_s = \frac{1}{\sqrt{n-1}} + F \cdot (0,04 + 0,04 \cdot \log(\log(n)))$$
$$K_s = \frac{1}{\sqrt{2}} + 1 \cdot (0,04 + 0,04 \cdot \log(\log(3))) \approx 0,73$$

### 8.2.11.1.4. Cálculo del caudal máximo probable ( $Q_{MP}$ )

$$Q_{MP} = K_s \cdot \sum q_i = 0,73 \cdot 0,4 = 0,292 \text{ L/s}$$

### 8.2.11.1.5. Cálculo de la velocidad ( $v$ )

Con un diámetro interior de  $20,6\text{mm} = 0,0206\text{m}$ , se obtiene:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0,0206)^2}{4} = 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$
$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,000292}{3,33 \cdot 10^{-4}} \approx 0,88 \text{ m/s}$$

### 8.2.11.1.6. Cálculo de la longitud equivalente por accesorios

Para este tramo se considera: 1 codo de  $45^\circ$ , 2 codos de  $90^\circ$  y 1 tee de paso directo. Usando los coeficientes de longitud equivalente  $L_e/D$  de la NEC-11:

$$L_{eq} = (1 \cdot 16 + 2 \cdot 30 + 1 \cdot 20) \cdot 0,0206 = 2,678 \text{ m}$$

### 8.2.11.1.7. Longitud total del tramo

$$L_{tot} = L_{tubería} + L_{eq} = 12,40 + 2,678 = 15,08 \text{ m}$$

### 8.2.11.1.8. Pérdida de carga por fricción ( $H_f$ )

Usando la ecuación 16.6 de NEC-11:

$$H_f = 0,00054 \cdot L_{tot} \cdot \left( \frac{v^{1,75}}{D^{1,25}} \right)$$

$$H_f = 0,00054 \cdot 15,08 \cdot \left( \frac{0,88^{1,75}}{0,0206^{1,25}} \right) \approx 0,836 \text{ m.c.a.}$$

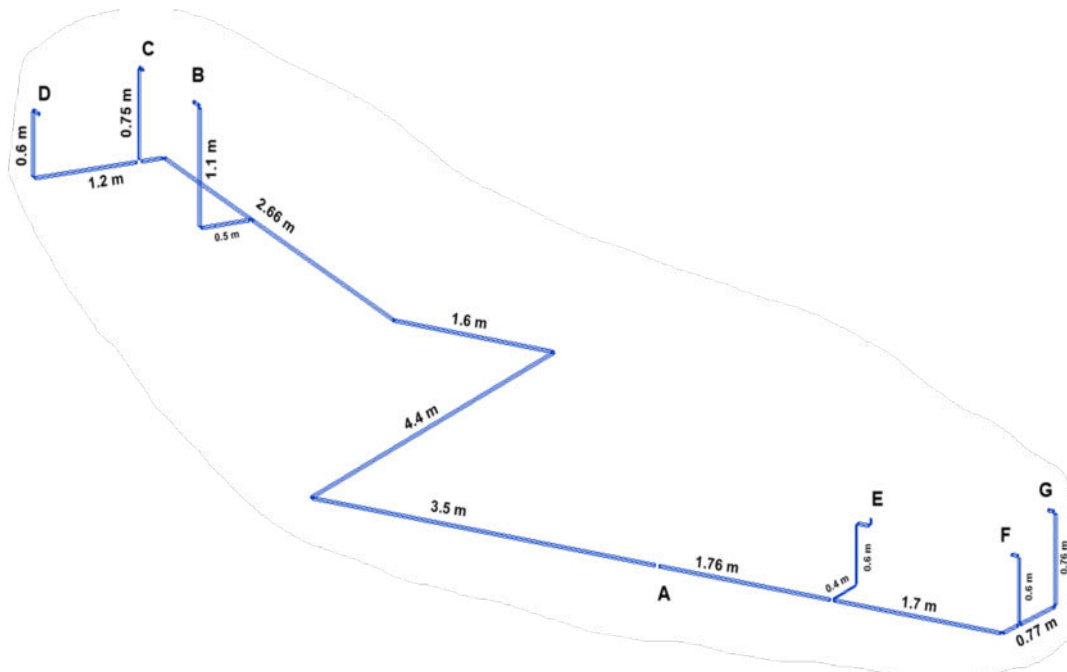
### 8.2.11.1.9. Presión residual en el punto B

$$P = P_0 - H_f - h = 9,17 - 0,836 - 0,00 = 8,34 \text{ m.c.a.}$$

### 8.2.11.1.10. Resumen de resultados por tramos

El mismo procedimiento se aplica para los demás tramos (B-B', B-C, etc.) usando los valores de la **Figura 35** y la **Tabla 28**. La red se dividió en dos ramales: uno hacia la izquierda y otro hacia la derecha desde el punto A.

**Figura 35.** Isométrico del sistema de agua fría planta baja



**Tabla 28.** Resumen del análisis de tramos en planta baja

Tramo	Q (L/s)	$K_s$	QMP (L/s)	$v$ (m/s)	$L_{eq}$ (m)	$L_{tot}$ (m)	$H_f$ (m)	$P$ (m.c.a.)
A-B	0,40	0,73	0,29	0,88	2,678	15,08	0,836	8,34
B-B'	0,40	0,73	0,29	1,62	1,368	2,97	0,698	6,54
B-C	0,20	1,00	0,20	1,10	0,988	2,95	0,354	7,98
C-C'	0,20	1,00	0,20	1,10	0,684	1,43	0,172	7,06
C-D	0,10	1,00	0,10	0,55	0,684	1,68	0,060	7,92
D-D'	0,10	1,00	0,10	0,55	0,684	1,28	0,046	7,28
A-E	0,50	0,73	0,37	1,10	0,412	2,17	0,178	9,00
E-E'	0,50	0,73	0,37	1,10	2,781	3,78	0,310	8,09
E-F	0,20	1,00	0,20	1,10	0,988	2,94	0,352	8,64
F-F'	0,20	1,00	0,20	1,10	0,684	1,28	0,154	7,89
F-G	0,10	1,00	0,10	0,55	0,684	1,22	0,044	8,60
G-G'	0,10	1,00	0,10	0,55	0,684	1,44	0,052	7,79

Se garantiza que todos los aparatos sanitarios cumplen con la presión mínima requerida. En el punto más desfavorable (ducha en B-B') se obtiene una presión residual de **6,54 m.c.a.**, superior al mínimo de **3 m.c.a.** según la tabla 16.1 de la NEC-11. Para el calentador, se obtiene **8,09 m.c.a.**, lo cual se considera aceptable según criterios técnicos actuales.

### 8.2.11.2. Sistema indirecto en planta alta

#### 8.2.11.2.1. Método de análisis

Dado que la red de distribución de agua fría en la planta alta es extensa y con múltiples ramales, se ha optado por aplicar el método de Hunter, según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) del Perú (IS.010), el cual permite estimar el caudal probable ( $Q_{MP}$ ) en función de las Unidades Hunter (UH) conectadas a cada tramo. Este método es especialmente útil en sistemas de uso múltiple donde el número de aparatos es elevado y el cálculo por el método de simultaneidad se vuelve extenso.

A continuación, las **Figuras 36 y 37** muestran los gastos probables utilizadas para aplicar el método de Hunter. La primera figura presenta la curva de correlación entre Unidades Hunter (UH) y el caudal probable ( $Q_{MP}$ ), permitiendo obtener el gasto estimado a partir del total de unidades conectadas. La segunda figura detalla los valores asignados a cada tipo de artefacto sanitario según su uso privado, datos que son necesarios para calcular las UH totales en la red.

**Figura 36.** Gastos probables para aplicación del método hunter

**GASTOS PROBABLES PARA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE HUNTER**

N° de unidades	Gasto Probable		N° de unidades	Gasto Probable		N° de unidades	Gasto Probable
	Tanque	Válvula		Tanque	Válvula		
3	0,12	-	120	1,83	2,72	1100	8,27
4	0,16	-	130	1,91	2,80	1200	8,70
5	0,23	0,91	140	1,98	2,85	1300	9,15
6	0,25	0,94	150	2,06	2,95	1400	9,56
7	0,28	0,97	160	2,14	3,04	1500	9,90
8	0,29	1,00	170	2,22	3,12	1600	10,42
9	0,32	1,03	180	2,29	3,20	1700	10,85
10	0,43	1,06	190	2,37	3,25	1800	11,25
12	0,38	1,12	200	2,45	3,36	1900	11,71
14	0,42	1,17	210	2,53	3,44	2000	12,14
16	0,46	1,22	220	2,60	3,51	2100	12,57
18	0,50	1,27	230	2,65	3,58	2200	13,00
20	0,54	1,33	240	2,75	3,65	2300	13,42
22	0,58	1,37	250	2,84	3,71	2400	13,86
24	0,61	1,42	260	2,91	3,79	2500	14,29
26	0,67	1,45	270	2,99	3,87	2600	14,71
28	0,71	1,51	280	3,07	3,94	2700	15,12
30	0,75	1,55	290	3,15	4,04	2800	15,53
32	0,79	1,59	300	3,32	4,12	2900	15,97
34	0,82	1,63	320	3,37	4,24	3000	16,20
36	0,85	1,67	340	3,52	4,35	3100	16,51
38	0,88	1,70	380	3,67	4,46	3200	17,23
40	0,91	1,74	390	3,83	4,60	3300	17,85
42	0,95	1,78	400	3,97	4,72	3400	18,07
44	1,00	1,82	420	4,12	4,84	3500	18,40
46	1,03	1,84	440	4,27	4,96	3600	18,91

**Figura 37.** Unidades de Gasto(Usos Privado)

**UNIDADES DE GASTO PARA EL CÁLCULO DE LAS TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN LOS EDIFICIOS (APARATOS DE USO PRIVADO)**

Aparato sanitario	Tipo	Unidades de gasto		
		Total	Agua fría	Agua caliente
Inodoro	Con tanque – descarga reducida.	1,5	1,5	-
Inodoro	Con tanque.	3	3	-
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática.	6	6	-
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida.	3	3	-
Bidé		1	0,75	0,75
Lavatorio		1	0,75	0,75
Lavadero		3	2	2
Ducha		2	1,5	1,5
Tina		2	1,5	1,5
Urinario	Con tanque	3	3	-
Urinario	Con válvula semiautomática y automática.	5	5	-
Urinario	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida.	2,5	2,5	-
Urinario	Múltiple (por m)	3	3	-

### 8.2.11.2.2. Justificación del tramo crítico B–H

El análisis hidráulico inicia desde el punto más alejado y con mayor exigencia: el calentador (punto A). Se requiere una presión mínima de 10 m.c.a. en este artefacto. El análisis se realiza de forma descendente, sumando pérdidas de carga ( $H_f$ ) y altura geométrica ( $H_g$ ) hasta llegar al tramo B–H, donde se encuentra el punto de bombeo. El caudal estimado en este tramo corresponde al caudal que debe ser impulsado por la bomba para garantizar el suministro a todos los puntos de consumo, es decir:

$$Q_{\text{bombeo}} = Q_{MP}^{B-H} = 1,22L/s$$

### 8.2.11.2.3. Determinación de unidades Hunter y caudales por tramos

Para cada tramo se han identificado los aparatos sanitarios conectados, asignando las Unidades Hunter (UH) respectivas con base en la normativa IS.010. Estas unidades se acumulan a lo largo de la red hasta el punto B–H. Usando la tabla de conversión UH–Q (caudal probable en L/s), se interpolan los valores para determinar el caudal de diseño en cada tramo.

### 8.2.11.2.4. Cálculo de velocidades

La velocidad del flujo se calcula despejando la ecuación de continuidad:

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

### 8.2.11.2.5. Cálculo de longitud equivalente por accesorios

Se emplean los valores de longitud equivalente  $L_{eq}$  por accesorio, multiplicados por el diámetro interior de la tubería. La longitud total se obtiene sumando  $L_{eq} + L_{tubería}$ .

### 8.2.11.2.6. Pérdida de carga por fricción

La pérdida de carga se estima con la ecuación de Hazen-Williams adaptada según NEC-11:

$$H_f = K \cdot L_{tot} \cdot \left( \frac{v^{1,75}}{D^{1,25}} \right)$$

### 8.2.11.2.7. Presión residual y total requerida

La presión residual en cada tramo se obtiene sumando la presión del tramo siguiente, más  $H_g$  (altura geométrica) y  $H_f$  (pérdida de carga). Este procedimiento permite determinar la presión que debe vencer la bomba desde el punto B–H hacia los extremos del sistema.

### 8.2.11.2.8. Resumen de resultados por tramos

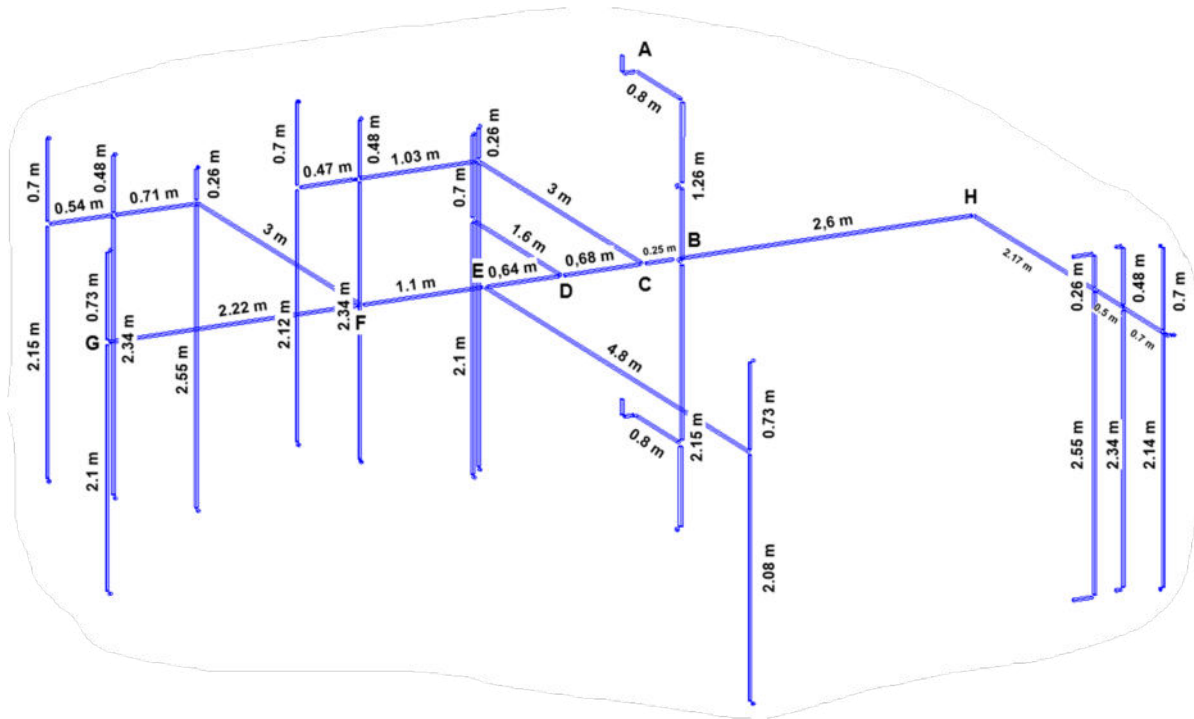
La **Tabla 29** presenta el análisis de la red de distribución de agua fría para la planta alta, diseñada bajo un sistema indirecto con cisterna y bombeo de presión constante. Se ha aplicado el método de Hunter conforme al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) del Perú (IS.010), que permite estimar el caudal probable ( $Q_{MP}$ ) en función del número de Unidades Hunter (UH) conectadas por tramo.

**Tabla 29.** Análisis de red de agua fría sistema indirecto (cisterna + bombeo) – método Hunter

<b>Tramo</b>	<b>UH</b>	<b>Q (L/s)</b>	<b>DI (mm)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>L.Eq. (m)</b>	<b>L.Tub. (m)</b>	<b>L.Tot. (m)</b>	<b><math>H_f</math> (m)</b>	<b>P (m.c.a.)</b>
A-B	7,25	0,283	26,4	0,52	4,620	2,26	6,880	0,1100	8,71
B-C	14,5	0,43	26,4	0,79	0,528	0,25	0,778	0,0259	8,74
C-D	25,5	0,655	26,4	1,20	0,528	0,68	1,208	0,0839	8,82
D-E	27,5	0,70	26,4	1,28	0,528	0,64	1,168	0,0911	8,91
E-F	31,5	0,78	26,4	1,42	0,528	1,06	1,588	0,1498	9,06
F-G	46,5	1,045	26,4	1,91	0,528	2,22	2,748	0,4324	9,49
B-H	57,5	1,22	26,4	2,23	1,188	2,60	3,788	0,7815	10,27
<b>Pérdidas totales acumuladas:</b>									<b>1,6746</b>

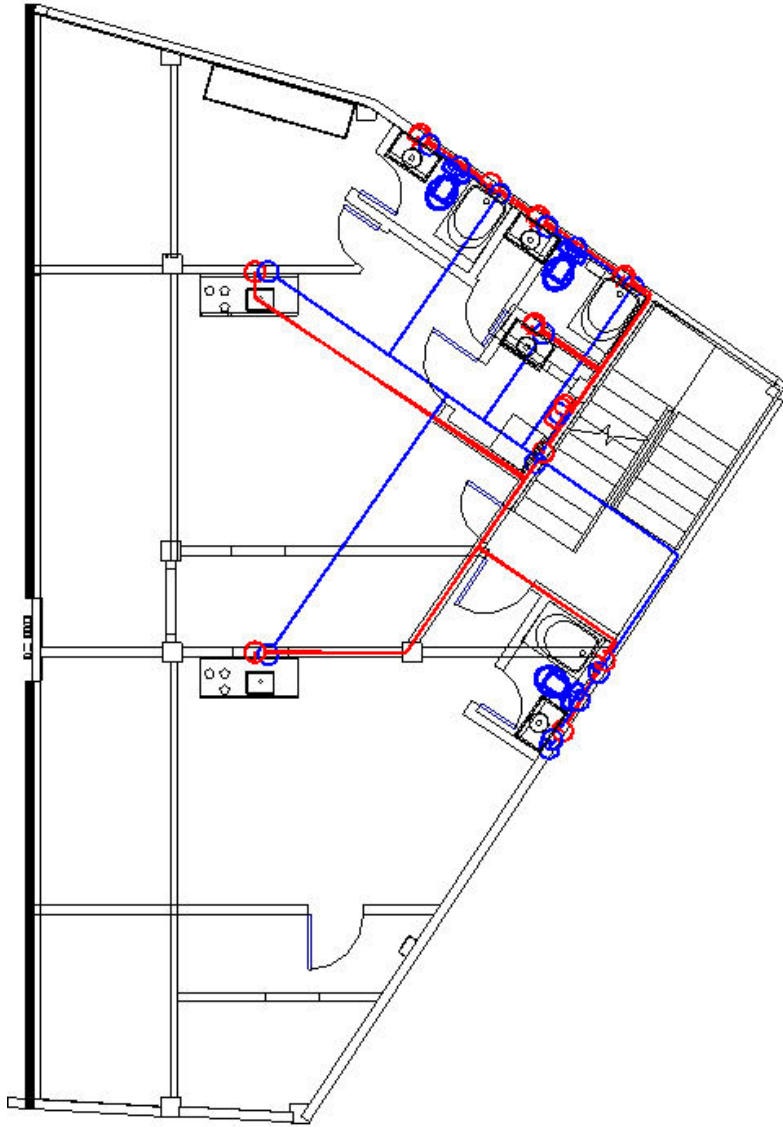
La **Figura 38** presenta el esquema isométrico del sistema indirecto de agua fría correspondiente a la planta alta.

**Figura 38.** Isométrico del sistema indirecto de agua fría planta alta



Se concluye que la bomba deberá ser capaz de suministrar un caudal de **1,22 L/s** y superar una pérdida de carga total de **1,6746 m.c.a.**, además de la presión mínima requerida en el punto más desfavorable (10m.c.a.), sumando una presión manométrica mínima de bombeo de **11,67 m.c.a.**, en la **Figura 39** se aprecia la red de tuberías de abastecimiento a los distintos aparatos, la misma distribución tanto para la primera como la segunda planta.

**Figura 39.** Vista de la red de tubería en Plantas Superiores



### 8.2.11.3. Sistema de Succión e Impulsión

Para determinar la altura dinámica total necesaria para el sistema de bombeo, se ha procedido a analizar de forma detallada los sistemas de succión e impulsión. Se sigue el mismo procedimiento aplicado en el análisis de los sistemas de agua fría de planta baja y planta alta por tramos, considerando la suma de pérdidas de carga menores y mayores, velocidades, caudales y desniveles. En ambos casos se emplea el caudal de bombeo previamente determinado de 1,22 L/s.

La **Figura 40** muestra los diámetros seleccionados para las tuberías de succión e impulsión

**Figura 40.** Diámetros de succión e impulsión en función del caudal de bombeo

DIÁMETRO DE LAS LÍNEAS DE SUCCIÓN E IMPULSIÓN		
Caudal $Q_b$	Diámetro tubería de succión	Diámetro tubería de impulsión
Hasta 0,50	1" (25 mm)	¾" (18,75 mm)
Hasta 1,00	1 ¼" (31,25 mm)	1" (25 mm)
Hasta 1,60	1 ½" (37,5 mm)	1 ¼" (31,25 mm)
Hasta 3.00	2" (50 mm)	1 ½" (37,5 mm)

En primer lugar, para el análisis del sistema de succión (desde la cisterna hasta la bomba), se seleccionó un diámetro nominal de 1½ pulg (40.5mm), conforme a la normativa peruana basada en el caudal. La velocidad calculada es de 0.95 m/s y se incluyen las pérdidas por un codo de 90° y una válvula de retención. La pérdida de carga total en este tramo resulta ser de 0.253 m.c.a., y el desnivel vertical desde la cota mínima de la cisterna es de 2.3 m, para una presión residual en la succión de 2.55 m.c.a.

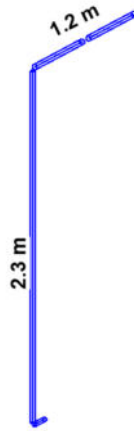
La **Tabla 30** resume los valores calculados, incluyendo la longitud de tubería recta, las pérdidas de carga por fricción y accesorios, así como la presión disponible en la entrada de la bomba.

**Tabla 30.** Análisis del sistema de succión

Tramo	Q [L/s]	DI [mm]	$v$ [m/s]	$L_{eq}$ [m]	$L_{tub}$ [m]	$h_f$ [m]	$P$ [m.c.a.]
Succión	1,22	40,5	0,95	5,87	3,50	0,253	2,55

Como se muestra en la **Figura 41**, se presenta el esquema isométrico del tramo de succión desde la cisterna hacia el sistema de bombeo. Este gráfico permite visualizar la disposición de accesorios y determinar la longitud efectiva del tramo, lo cual es fundamental para el cálculo de pérdidas de carga.

**Figura 41.** Isométrico de Succión



Para el sistema de impulsión (desde la bomba hasta el punto más alto de la edificación), se seleccionó un diámetro de 1¼ pulg (34.5 mm) acorde al caudal de trabajo. Se considera una velocidad de 1.31 m/s y pérdidas de carga debido a tres codos de 90° y una válvula de retención. El desnivel desde la bomba hasta el calentador (punto más desfavorable) es de 7.27 m, mientras que la pérdida de carga resulta 0.969 m.c.a.

El análisis del tramo de impulsión se resume en la **Tabla 31**

**Tabla 31.** Análisis del sistema de impulsión

Tramo	Q [L/s]	DI [mm]	v [m/s]	$L_{eq}$ [m]	$L_{tub}$ [m]	$h_f$ [m]	P [m.c.a.]
Impulsión	1,22	34,5	1,31	8,11	8,63	0,969	8,24

La configuración del tramo de impulsión, incluyendo su recorrido, accesorios y puntos de conexión, se muestra en la **Figura 42**.

**Figura 42.** Isométrico de Impulsión



#### 8.2.11.4. Determinación de la altura dinámica total

La altura dinámica total ( $H_{TD}$ ) se obtiene como la suma de:

- La presión mínima requerida en el punto más desfavorable (calentador):  $P_s = 10m.c.a.$ .
- La pérdida de carga total acumulada:  $h_{f_{total}} = h_{f_{PA}} + h_{f_{SUCC}} + h_{f_{IMP}} = 0,969 + 0,253 + 1,6746 = 2,89m.c.a.$  (tomando la pérdida en planta alta ya calculada previamente).
- El desnivel total entre la cota mínima de la cisterna y el calentador:  $h_g = 2,3 + 7,27 = 9,57m.$

$$H_{TD} = P_s + h_{f_{total}} + h_g = 10 + 2,89 + 9,57 = 22,46m.c.a.$$

Esta altura dinámica será usada para la selección de la bomba centrífuga adecuada en el siguiente apartado.

#### 8.2.11.5. Dimensionamiento del equipo de bombeo

Se parte de la altura dinámica total calculada previamente:

$$\text{HDT} = h_g + h_{f,\text{total}} + P_{\text{crit}} = 9,57 + 2,90 + 10 = 22,46\text{m.c.a.}$$

Donde:

- $h_g$ : altura geométrica entre la cota mínima de la cisterna y el punto más desfavorable.
- $h_{f,\text{total}}$ : pérdida de carga total (suma de pérdidas de succión e impulsión).
- $P_{\text{crit}}$ : presión mínima requerida en el punto más desfavorable (calentador).

Dado que el caudal total de bombeo requerido es de  $1,22\text{L/s}$ , y se proyectan dos bombas (una operativa y una de reserva), el caudal de diseño para una bomba será:

$$Q = \frac{1,22}{2} = 0,61\text{L/s}$$

Luego, se procede con el cálculo de la potencia hidráulica con una eficiencia del 60% utilizando la siguiente fórmula:

$$P_{\text{hidráulica}} = \frac{Q \cdot H}{75 \cdot \eta_h}$$

$$P_{\text{hidráulica}} = \frac{0,61 \cdot 22,47}{75 \cdot 0,60} = 0,305\text{HP}$$

Para determinar la potencia eléctrica requerida (considerando una eficiencia del motor del 80%, se utiliza:

$$P_{\text{eléctrica}} = \frac{P_{\text{hidráulica}}}{\eta_m} = \frac{0,305}{0,80} = 0,381\text{HP}$$

Por tanto, la potencia teórica a seleccionar se redondea a:

$$P_{\text{teórica}} = 1,00\text{HP}$$

**Selección comercial:** Se seleccionan dos bombas de 1,00HP, de las cuales una estará en operación y otra permanecerá en reserva.

### 8.2.11.6. Selección del equipo de bombeo

Una vez calculada la Altura Dinámica Total (HDT) de 22,46 m.c.a. y determinado el caudal de bombeo total de 1,22 L/s, se procedió a ubicar el punto de operación sobre el campo de prestaciones de la marca Pedrollo, considerando una frecuencia de operación de 60 Hz y una velocidad de rotación de 3450 rpm. El punto de operación se representa por un caudal de 1,22 L/s (73,2 L/min) y una altura manométrica de 22,46 m.

Al graficar dicho punto sobre el campo de prestaciones mostrado en la **Figura 43**, se observó que este se encuentra por debajo de la curva más baja de la familia CP 160. Sin embargo, la curva más cercana que supera las condiciones de diseño corresponde al modelo **CP 160 C**, con una potencia nominal de 1,5 HP, tal como se detalla en el catálogo técnico de la marca Pedrollo (ver **Figura 44**).

**Figura 43.** Familia de bomba

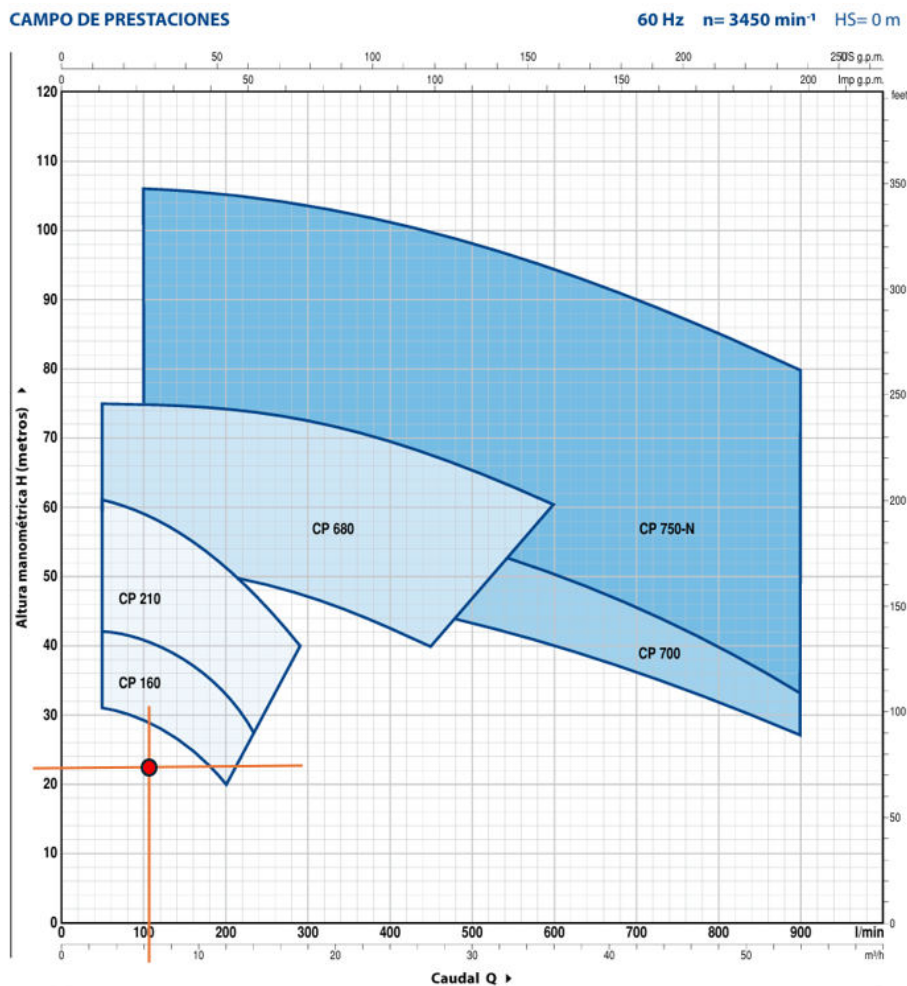
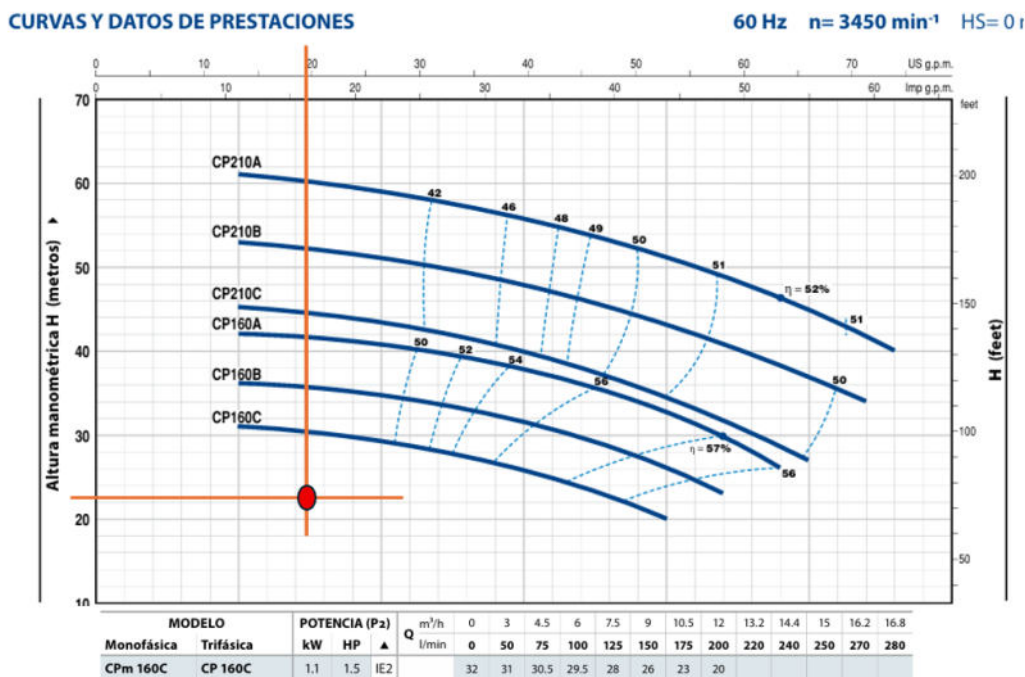


Figura 44. Bomba Pedrollo CP 160C 60hz (1,5 HP)

## CP 160-210



Para garantizar el funcionamiento eficiente del sistema y considerando la necesidad de mantener presión constante en el circuito hidráulico, se opta por instalar **dos bombas CP 160C montadas en paralelo**, de las cuales una operará como respaldo en caso de falla. Adicionalmente, se recomienda el uso de un **variador de frecuencia** acoplado a un tablero de control para automatizar el encendido, ajustar la velocidad de operación según la demanda y evitar golpes de ariete, contribuyendo a la eficiencia energética y prolongación de la vida útil del sistema.

La instalación en paralelo horizontal con control por presión permite una distribución equilibrada del trabajo de las bombas, garantizando caudales constantes aún en condiciones variables de demanda.

### 8.2.12. Análisis del sistema de agua caliente

#### 8.2.12.1. Sistema directo en planta baja

En este apartado se analiza el comportamiento hidráulico del sistema de agua caliente para la planta baja, utilizando un sistema directo. Es decir, el agua caliente es suministrada de forma inmediata desde un calentador tipo calefón, el cual no acumula agua, sino que calienta

el agua a medida que esta circula, manteniendo la misma presión de entrada y salida. Por tanto, la presión de entrada de este sistema de agua caliente será igual a la presión disponible en el punto de conexión del agua fría con el calentador. En este caso, la presión de entrada al sistema caliente se toma como 8,09 m.c.a., correspondiente al tramo H–H' del sistema de agua fría.

Para el análisis se emplea el método de caudales instantáneos según lo establece la norma NEC, considerando cada ramal del sistema con su coeficiente de simultaneidad (Ks), obteniendo así el caudal máximo probable, velocidades, pérdidas por accesorios y pérdidas de carga. A partir de estos datos, se determina la presión residual en cada uno de los puntos de consumo.

El punto más desfavorable corresponde al lavabo del tramo K–K', ya que es el más alejado tanto en sentido horizontal como vertical desde el punto de entrada (H–H'). La presión residual calculada en este punto es de 6,52 m.c.a., valor que supera el mínimo requerido para lavabos según la norma (2 m.c.a.), por lo cual se concluye que el sistema cumple con los requerimientos de presión.

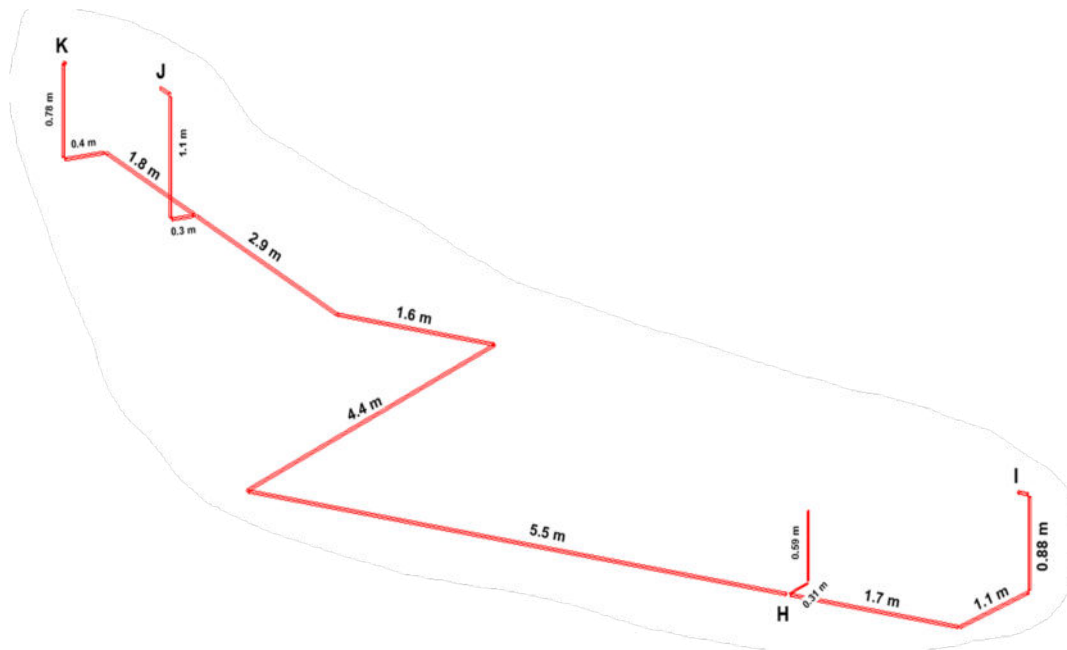
En la **Tabla 32** se presenta el análisis del sistema de agua caliente en planta baja.

**Tabla 32.** Análisis del sistema de agua caliente en planta baja – sistema directo

Tramo	Q (L/s)	DN (pulg)	v (m/s)	$L_{eq}$ (m)	$L_{tub}$ (m)	$h_f$ (m)	P (m.c.a.)
H–H'	0,40	3/4	1,20	1,339	0,90	0,2132	8,46
H–I	0,10	1/2	0,55	1,368	2,80	0,1486	8,31
I–I'	0,10	1/2	0,55	0,684	0,88	0,0558	7,38
H–J	0,30	3/4	0,90	2,678	14,40	0,9829	7,48
J–J'	0,30	3/4	0,90	1,854	1,40	0,1873	6,19
J–K	0,10	1/2	0,55	1,368	2,20	0,1272	7,35
K–K'	0,10	1/2	0,55	0,684	0,78	0,0522	6,52

En la **Figura 45** se muestra el isométrico del sistema de agua caliente en planta baja.

**Figura 45.** Isométrico de agua caliente de planta baja



#### 8.2.12.2. Sistema indirecto en planta alta

El sistema de agua caliente en la planta alta se ha diseñado como un sistema indirecto de bombeo, abastecido desde el mismo grupo de presión constante que alimenta la red de agua fría. Para el dimensionamiento de esta red, se aplicó el método de Hunter conforme a la normativa peruana, considerando la simultaneidad de uso de los aparatos sanitarios.

El punto más desfavorable del sistema es el calentador ubicado en la segunda planta, para el cual se ha establecido una presión mínima de operación de 10 m.c.a. A partir de este punto, se analizaron todos los tramos de la red, verificando las pérdidas de carga ( $H_f$ ) y los desniveles ( $H$ ), a fin de garantizar una presión residual adecuada en cada extremo.

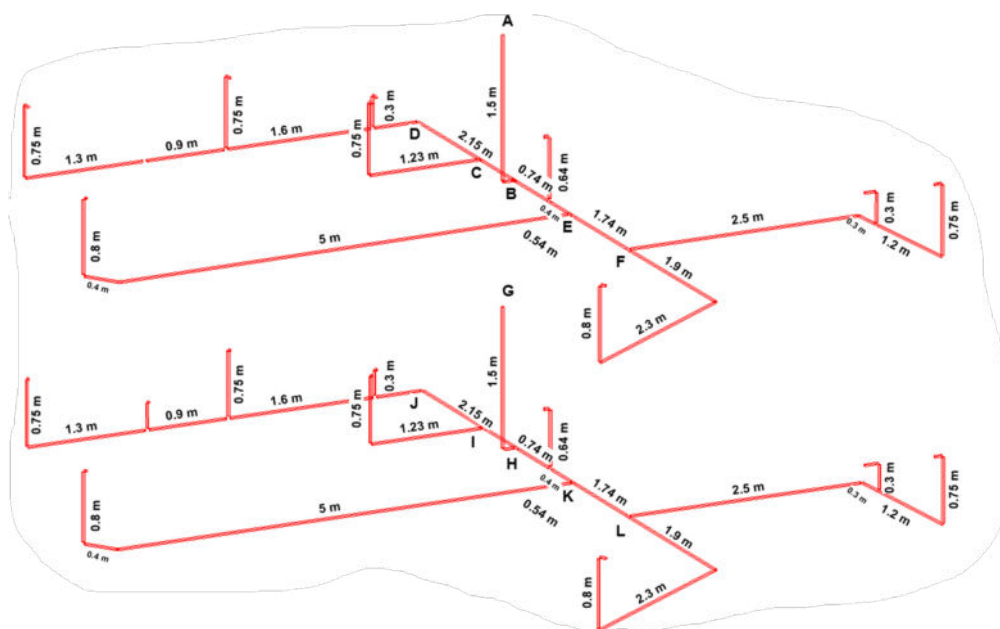
Como se muestra en la **Tabla 33** y en el isométrico respectivo (**Figura 46**), todos los tramos conducen a una presión residual superior a los valores mínimos requeridos. Los puntos terminales como lavabos, duchas y fregaderos mantienen presiones mayores a 2–3 m.c.a., mientras que el segundo calentador, ubicado en la primera planta, recibe una presión de 12,68 m.c.a., cumpliendo holgadamente con los requerimientos mínimos.

Por lo tanto, se concluye que el sistema de distribución de agua caliente cumple con los criterios de diseño hidráulico en cuanto a presiones mínimas y pérdidas admisibles. A continuación se presenta el análisis detallado por tramos:

**Tabla 33.** Análisis de red de agua caliente en planta alta

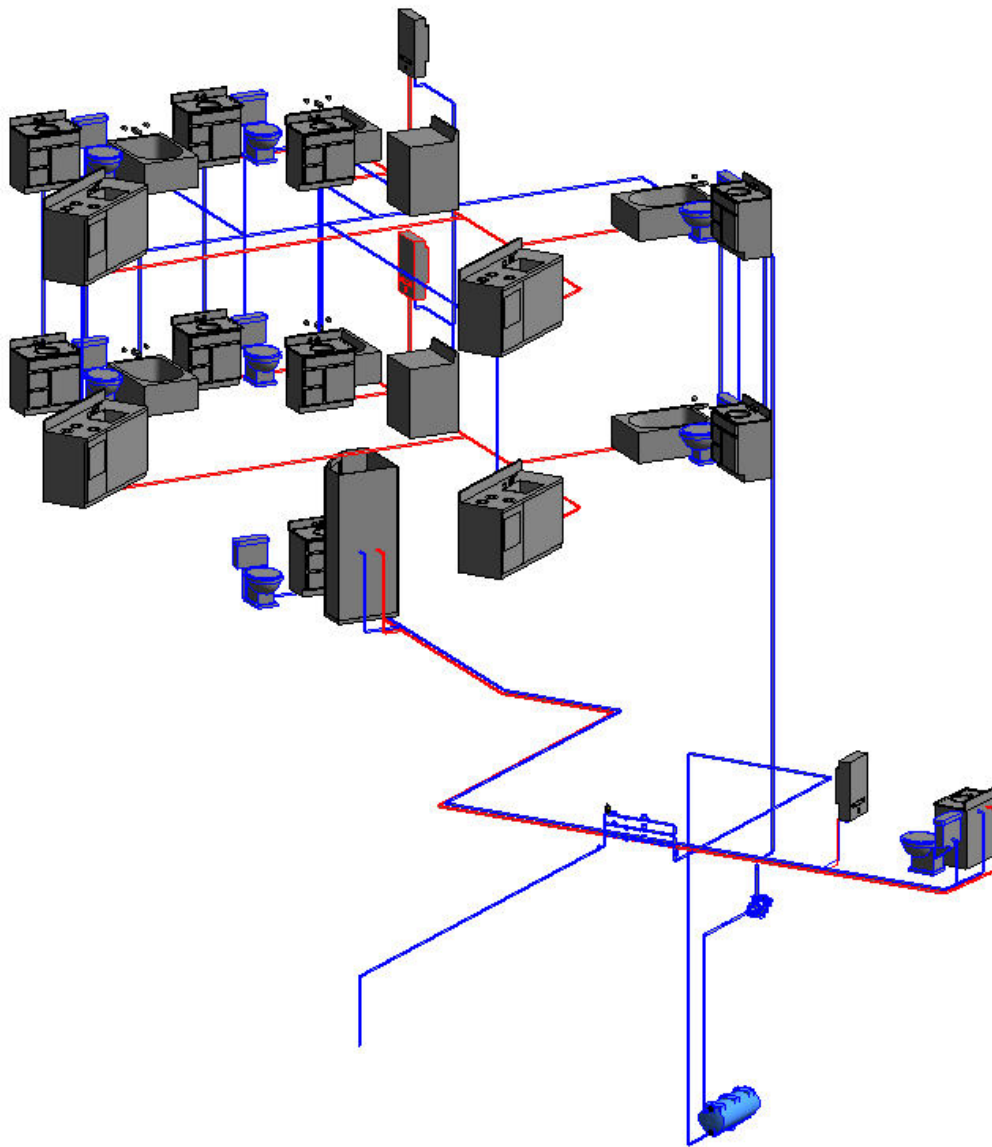
Tramo	UH	Q (L/s)	DN (pulg)	v (m/s)	L.eq. (m)	L.tub. (m)	L.tot. (m)	Hf (m)	H (m)	P (m)
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,00
A-B	5,25	0,24	3/4	0,71	1,34	1,50	2,84	0,11	-1,60	11,49
B-C	6,25	0,26	3/4	0,77	0,41	0,73	1,14	0,05	0,00	11,44
C-D	9,75	0,40	3/4	1,21	0,93	1,37	2,30	0,22	0,00	11,22
B-E	13,75	0,42	3/4	1,25	0,82	1,14	1,96	0,20	0,00	11,02
E-F	18,25	0,51	3/4	1,52	0,41	1,74	2,15	0,31	0,00	10,71
G-H	5,25	0,24	3/4	0,71	1,34	1,50	2,84	0,11	-1,60	14,17
H-I	6,25	0,26	3/4	0,77	0,41	0,73	1,14	0,05	0,00	14,12
I-J	9,75	0,40	3/4	1,21	0,93	1,37	2,30	0,22	0,00	13,90
H-K	13,75	0,42	3/4	1,25	0,82	1,14	1,96	0,20	0,00	13,70
K-L	18,25	0,51	3/4	1,52	0,41	1,74	2,15	0,31	0,00	13,39

**Figura 46.** Isométrico del sistema de agua caliente en planta alta



En la **Figura 47** se presenta el isométrico de toda la red de tuberías de la edificación.

**Figura 47.** Isométrico de la red de tuberías de toda la edificación



### 8.2.13. Simulación de redes hidráulicas mediante el software Pipe Flow

Con el objetivo de validar el comportamiento hidráulico de las redes de abastecimiento de agua fría y caliente, se realizaron cinco simulaciones utilizando el software *Pipe Flow Expert*. Las redes simuladas corresponden a: agua fría en planta baja, agua fría en planta alta (sistema indirecto), agua caliente en planta baja (sistema directo) y agua caliente en planta alta (dos simulaciones diferenciadas por niveles).

Las simulaciones se enfocaron en los tramos más desfavorables de cada sistema, replicando

las condiciones de presión, caudal, diámetro, longitud de tuberías y elevación utilizadas previamente en el análisis teórico. Se consideraron únicamente las pérdidas por fricción en los tramos rectos de tubería, excluyendo inicialmente los accesorios como codos, tees o válvulas. Esta decisión responde a que los elementos accesorios generan pérdidas menores comparadas con las originadas por la longitud total de las tuberías, y su efecto puede ser absorbido por el margen de presión residual obtenido.

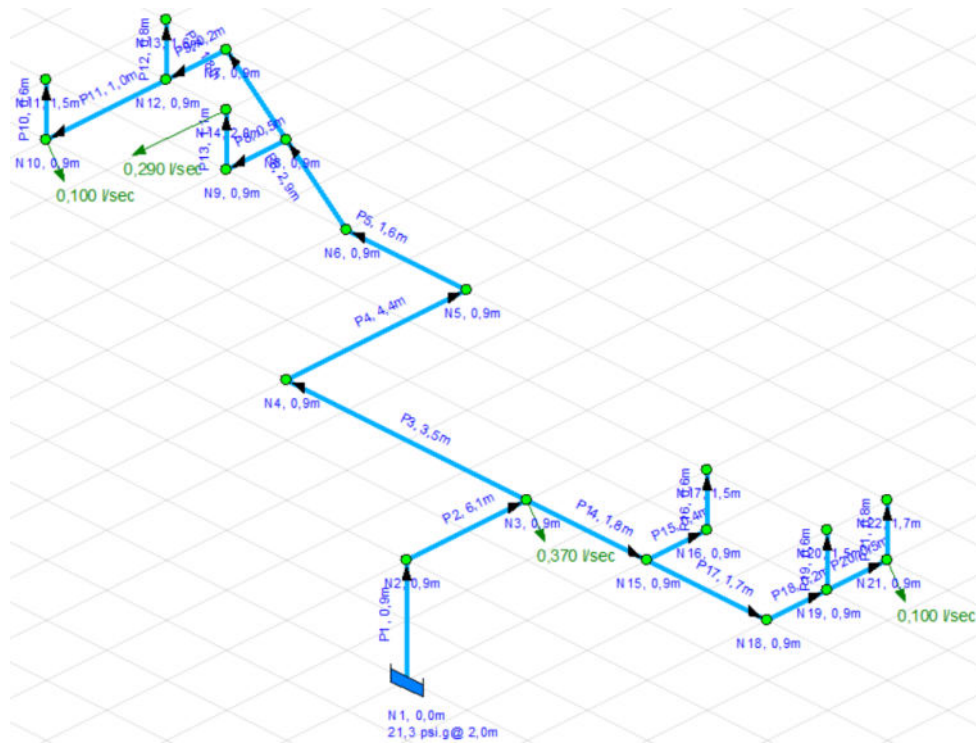
Además, los diámetros utilizados en la simulación fueron definidos previamente mediante el método de Hunter, conforme a la normativa técnica peruana para instalaciones sanitarias, y las velocidades máximas respetan los límites recomendados por dicha norma, así como las exigencias de la NEC 11. Se utilizó como material base el PVC Schedule 40 para la red de agua fría y CPVC para la red de agua caliente, por su disponibilidad, resistencia térmica y facilidad de instalación.

En las siguientes secciones se detallan las condiciones de entrada, la configuración del modelo y los resultados obtenidos en cada una de las cinco simulaciones.

- **Red de tubería de agua fría en planta baja (Sistema Directo):**

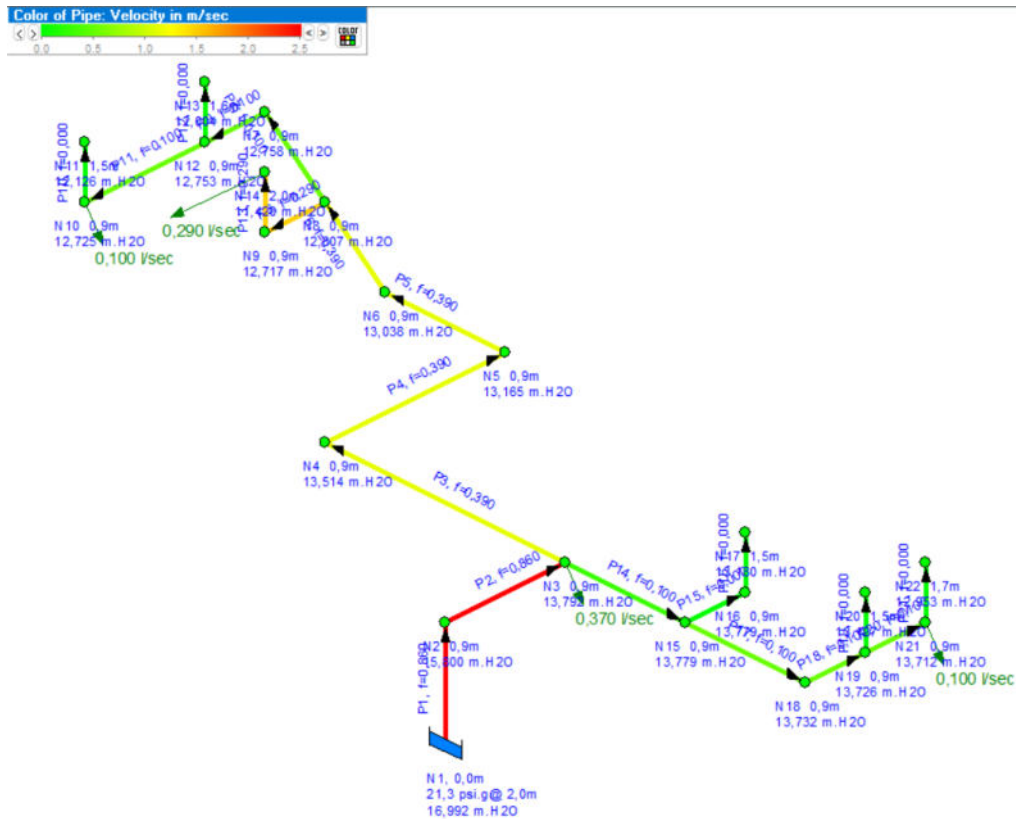
En la **Figura 48** se puede observar las condiciones de la red de tuberías de planta baja modelada en Pipe flow con la cisterna en el punto de inicio, donde se analizará el tramo mas desfavorable que sería la ducha, ubicado en el tramo izquierdo.

**Figura 48.** Modelado de planta baja en Pipe flow



En la simulación correspondiente de la **Figura 49** a la planta baja del sistema de agua fría, se observan presiones residuales que superan los 12 m.c.a. en la mayoría de los nodos, incluso alcanzando valores cercanos a 16,99 m.c.a. en los puntos iniciales del sistema. Las velocidades en las tuberías se mantienen dentro del rango recomendado por la normativa técnica, es decir, entre 0,1 m/s y 2,5 m/s, garantizando así una operación hidráulica eficiente sin riesgo de erosión ni ruido excesivo. Dado que esta planta se encuentra al nivel más bajo de la edificación, las presiones son naturalmente más elevadas debido a la menor altura geodésica. No se registran caídas significativas de presión a lo largo del sistema, lo cual indica que la configuración adoptada para los diámetros de tubería y su longitud es adecuada.

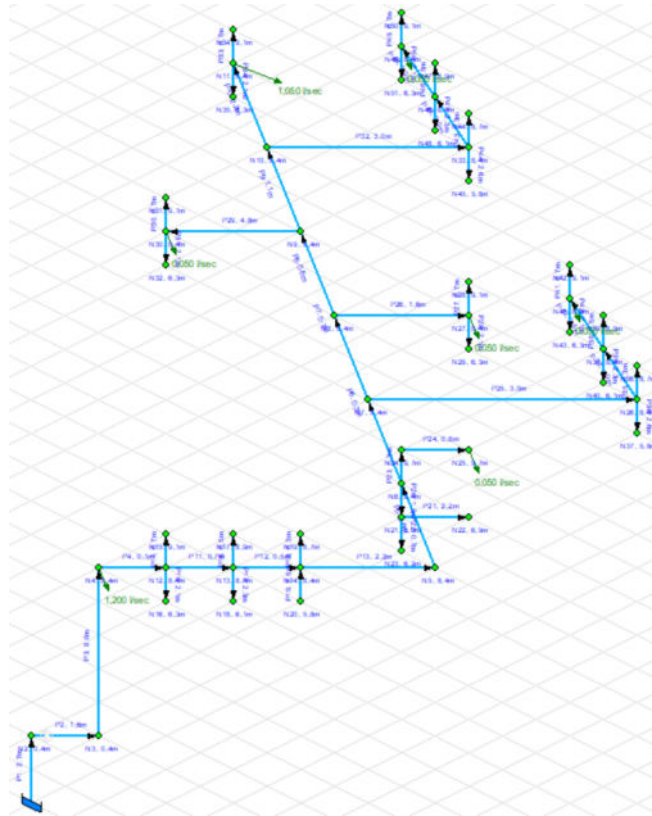
Figura 49. Simulación de planta baja en Pipe flow



■ Red de tubería de agua fría en planta alta (Sistema Indirecto):

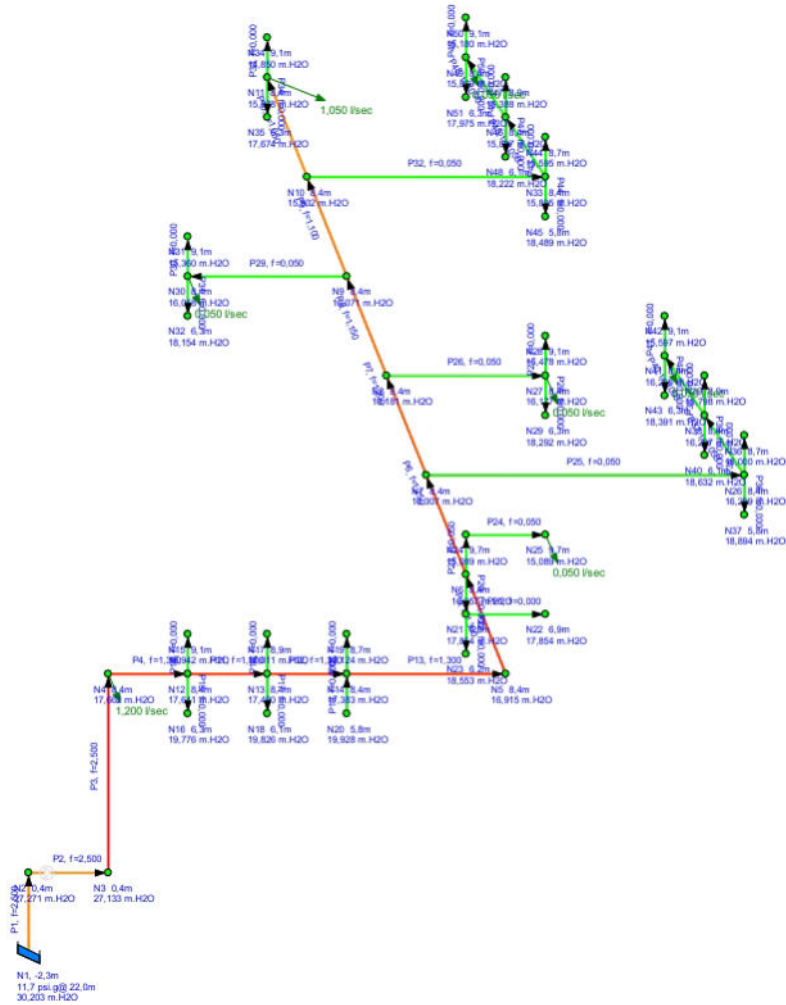
En la **Figura 50** se puede observar las condiciones de la red de tuberías de la planta alta modelada en Pipe flow tomando los tramos tanto primera como segunda planta, para analizar el punto crítico o mas desfavorable de la red, que es el calentador.

**Figura 50.** Modelado de planta alta en Pipe flow



Para la **Figura 51** correspondiente a la planta alta, el análisis de simulación muestra un comportamiento hidráulico coherente con lo esperado, considerando la mayor elevación respecto al punto de bombeo. Las presiones residuales en los nodos de consumo varían en el rango de 13 m.c.a. a 17 m.c.a., cumpliendo con los valores mínimos establecidos para los puntos terminales. Las velocidades de flujo se mantienen por debajo del umbral máximo permitido por norma, con un caudal total de aproximadamente 1,2 l/s. La pérdida de presión debido al desnivel se ve compensada adecuadamente por el sistema de bombeo, confirmando que el dimensionamiento hidráulico y la selección de materiales y diámetros ha sido acertada.

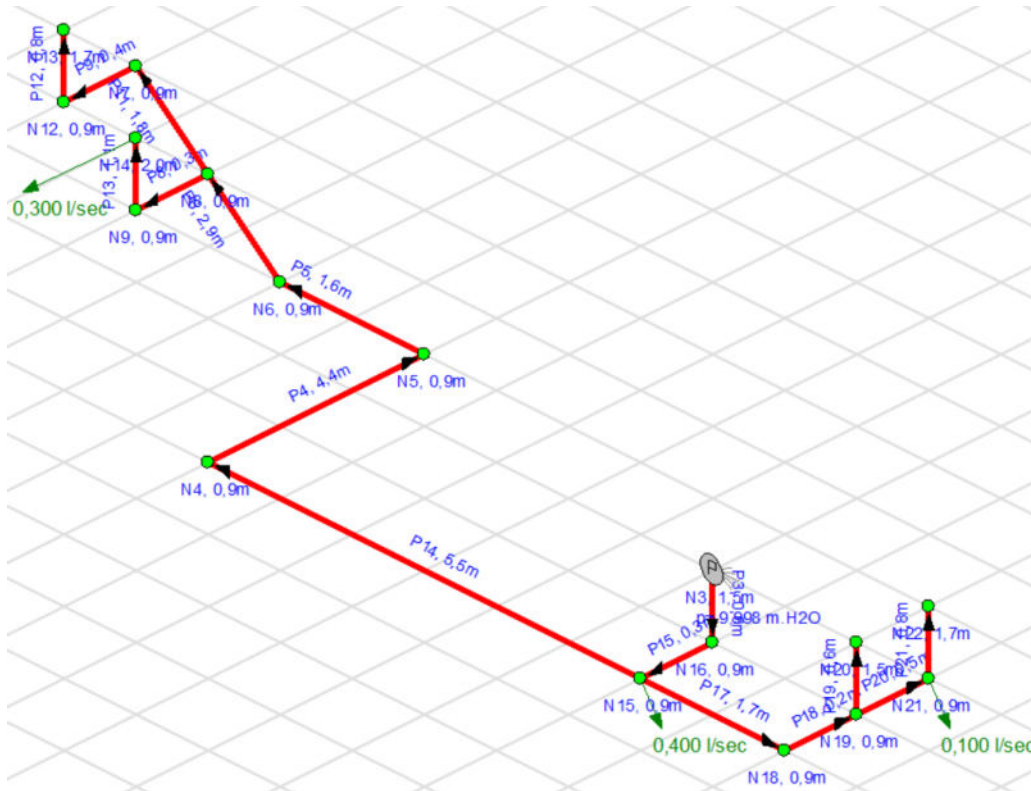
**Figura 51.** Simulación de planta alta en Pipe flow de agua fría



■ **Red de tubería de agua caliente en planta baja (Sistema Directo):**

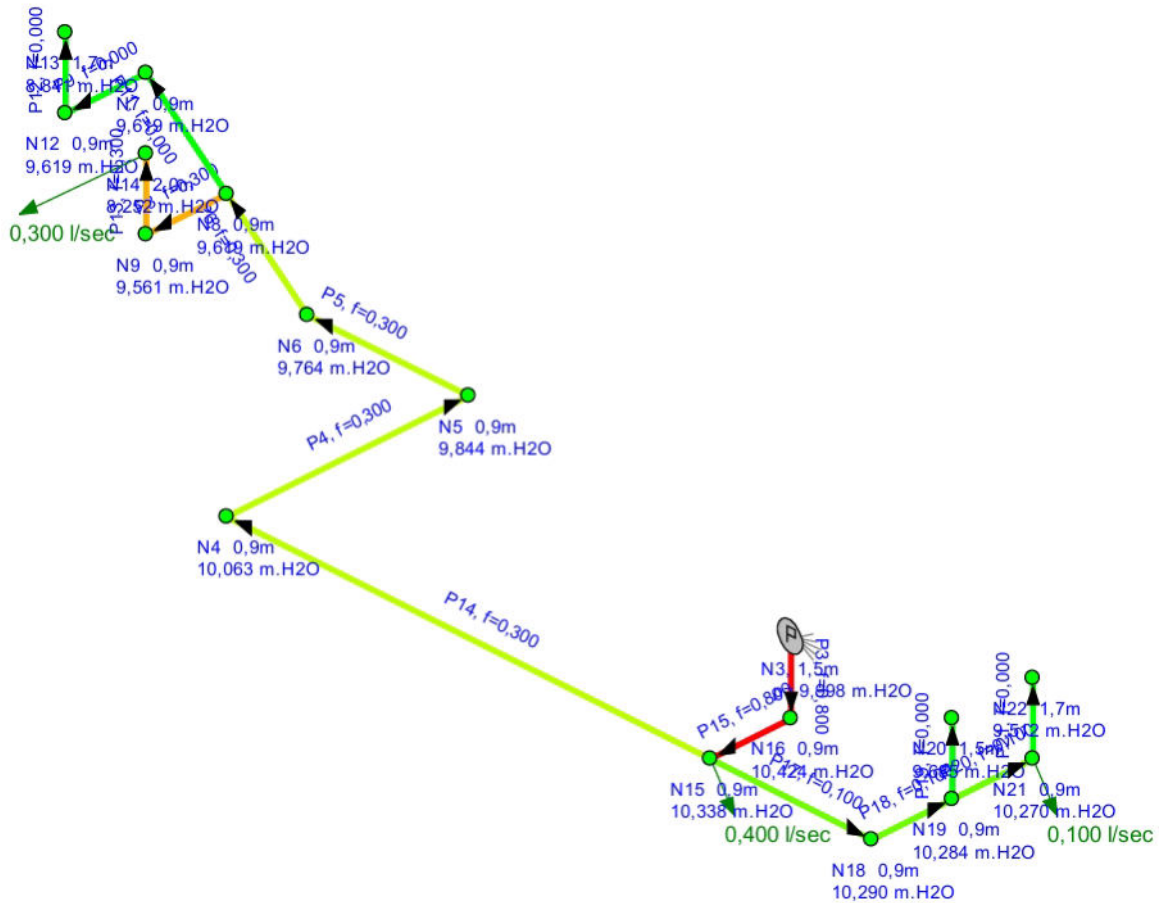
En la **Figura 52** se puede observar las condiciones de la red de tuberías de agua caliente en planta baja modelada en Pipe flow, donde el calentador tiene una entrada de 8,25 m.c.a para su respectivo análisis a los demás aparatos de consumo.

**Figura 52.** Modelado de planta baja en Pipe flow de agua caliente



En el caso de la **Figura 53** del sistema de agua caliente en la planta baja, la simulación refleja presiones estables que oscilan entre 8,25 m.c.a. y 10,42 m.c.a., con caudales por punto de consumo comprendidos entre 0,1 l/s y 0,4 l/s. La velocidad del fluido se encuentra dentro de los márgenes normativos aceptables, garantizando una entrega eficiente del servicio de agua caliente. Dado que esta planta se encuentra a nivel intermedio respecto al sistema de impulsión, se obtiene un equilibrio entre la presión disponible y el consumo requerido. El comportamiento de la red demuestra que la selección del diámetro nominal y la disposición de los tramos ha sido técnicamente adecuada.

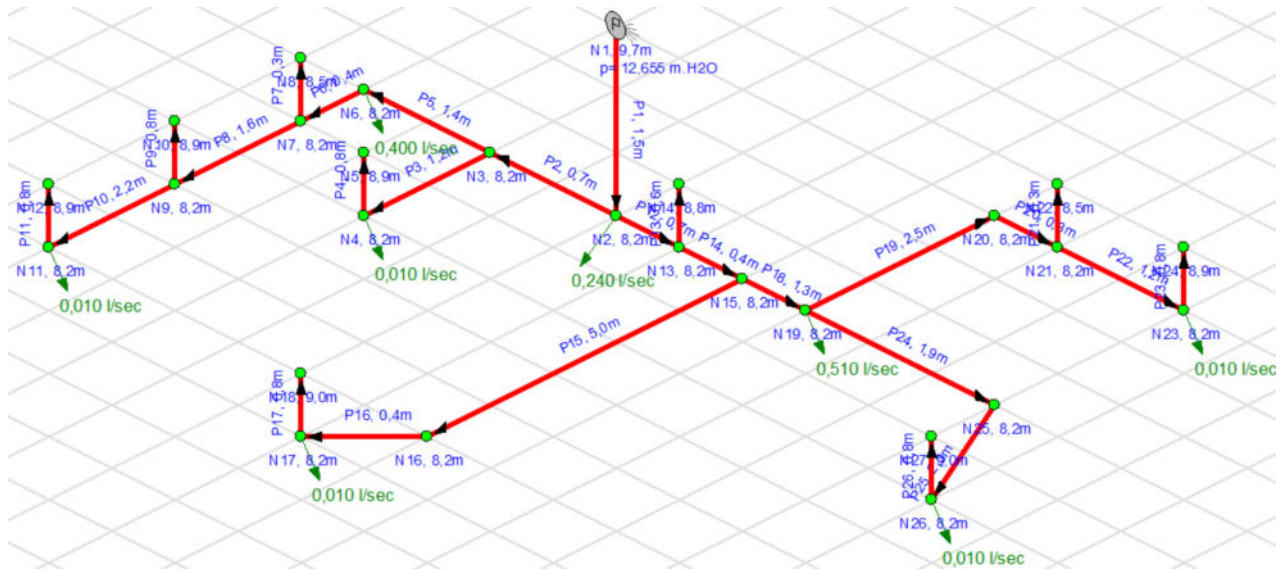
**Figura 53.** Simulación de planta baja en Pipe flow de agua caliente



▪ **Red de tubería de agua caliente en primera planta (Sistema Indirecto):**

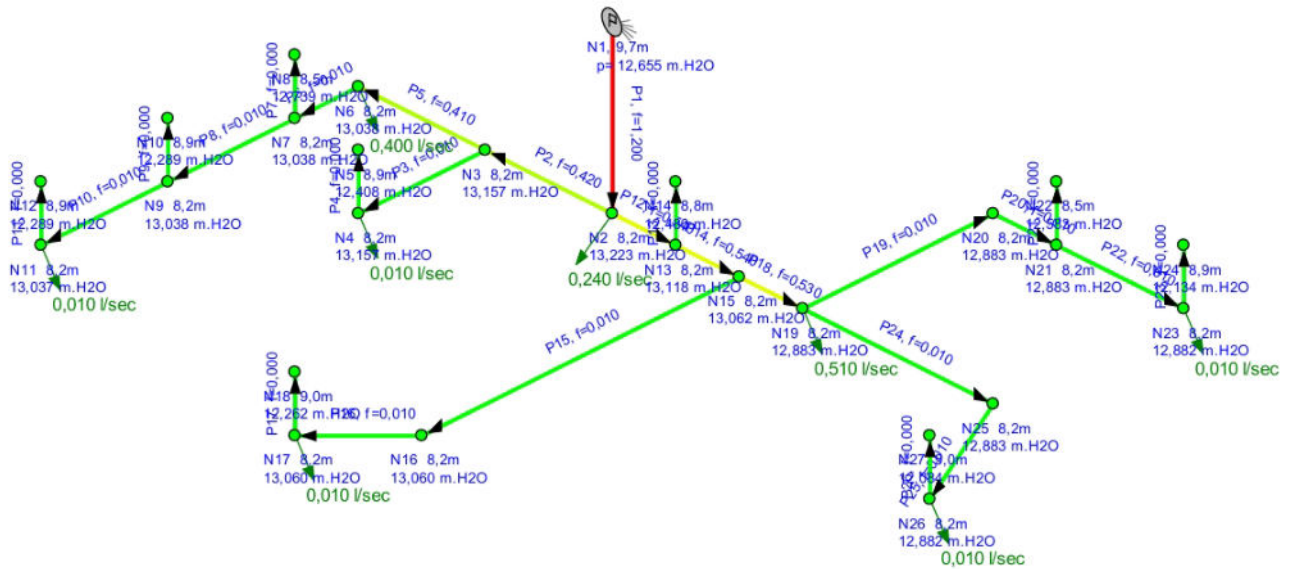
En la **Figura 54** se puede observar las condiciones de la red de tuberías de primera planta modelada en Pipe flow, donde el calentador tiene una entrada e 10 m.c.a. para su análisis.

**Figura 54.** Modelado de primera planta en Pipe flow de agua caliente



En esta variante de simulación de la **Figura 55**, se establece una presión de entrada más alta al calentador, de aproximadamente 12,65 m.c.a.. En consecuencia, las presiones residuales a lo largo de la red de distribución se incrementan, oscilando entre 12,08 m.c.a. y 13,22 m.c.a., lo que garantiza un servicio óptimo incluso en condiciones de alta demanda. Las velocidades se mantienen dentro del límite técnico permitido, y los caudales se distribuyen correctamente, con un comportamiento hidráulico muy similar al caso anterior pero con mayor margen de seguridad en presión. Este diseño proporciona redundancia operativa frente a posibles pérdidas de carga imprevistas o variaciones de caudal.

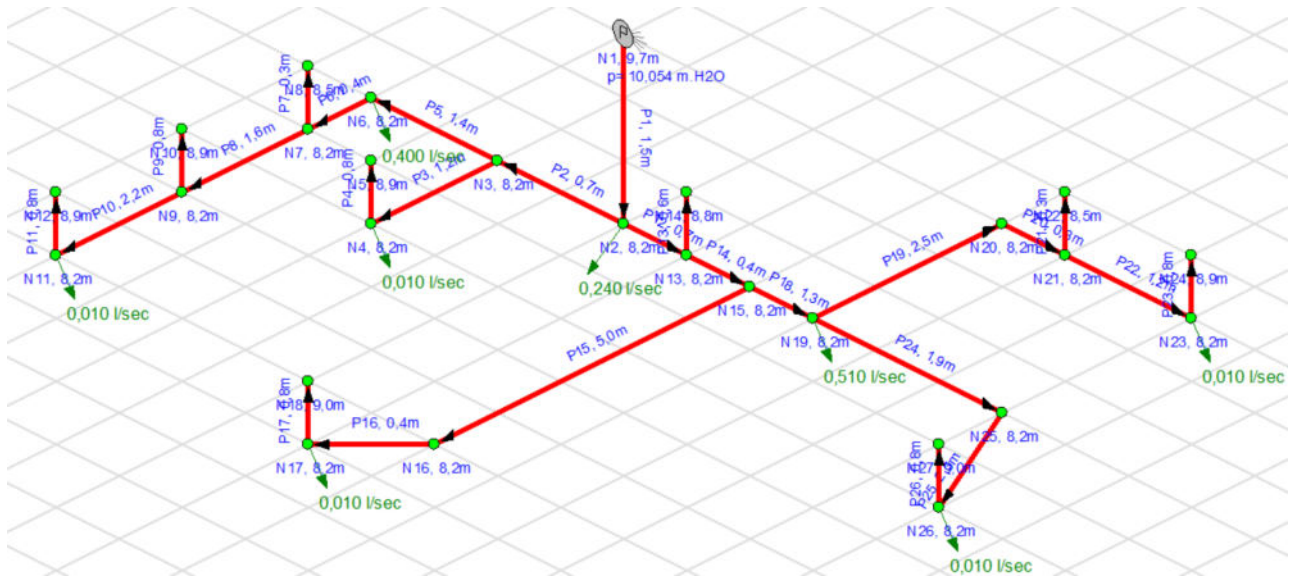
**Figura 55.** Simulación de primera planta en Pipe flow de agua caliente



- **Red de tubería de agua caliente en segunda planta (Sistema Directo):**

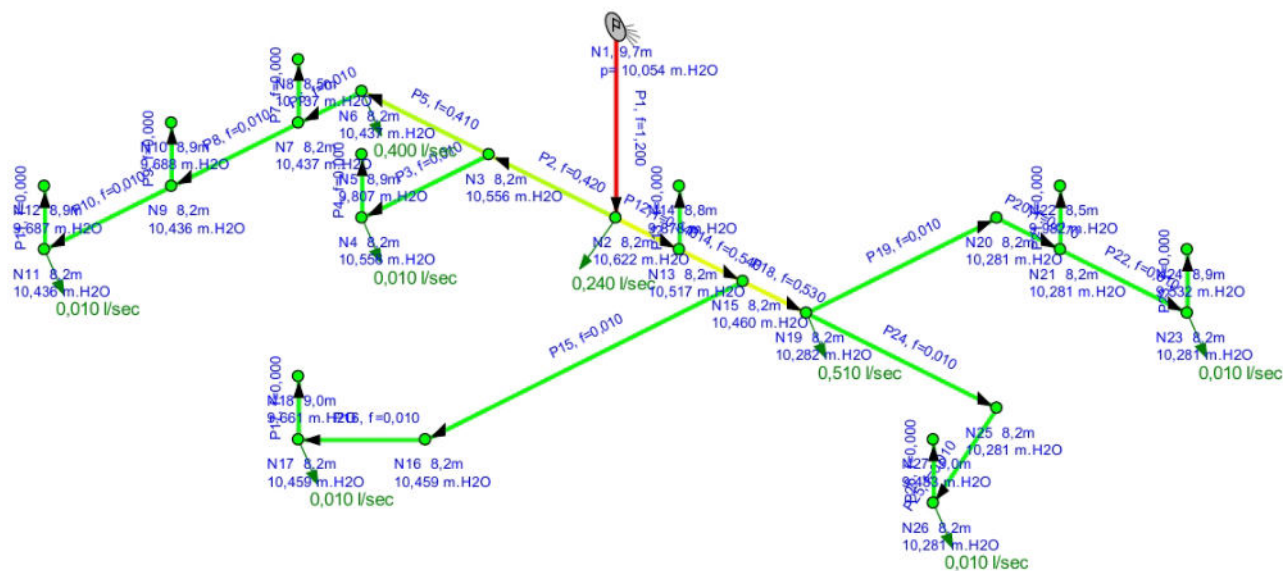
En la **Figura 56** se puede observar las condiciones de la red de tuberías de segunda planta modelada en Pipe flow , donde el calentador tiene una entrada e 12,65 m.c.a. para su análisis.

**Figura 56.** Modelado de segunda planta en Pipe flow de agua caliente



En la **Figura 57** la simulación corresponde al análisis del sistema de agua caliente en la planta alta, considerando una presión de entrada al calentador de aproximadamente 10,05 m.c.a.. Los nodos terminales mantienen presiones adecuadas, superiores a 9,5 m.c.a., lo cual confirma la viabilidad del sistema. Las velocidades en las tuberías están dentro del rango de 0,1 m/s a 2,5 m/s, y los caudales por punto no sobrepasan los 0,5 l/s. Este comportamiento es adecuado considerando que los dispositivos terminales, como duchas o lavabos, requieren presiones mínimas entre 2 m.c.a. y 3 m.c.a.. Se concluye que el sistema opera correctamente incluso en el punto más desfavorable, que es la entrada al calentador, asegurando una distribución térmica eficiente.

**Figura 57.** Simulación de segunda planta en Pipe flow de agua caliente



### 8.3. Análisis técnico financiero empleando la metodología de precios unitarios

El análisis de precios unitarios constituye una herramienta fundamental para la planificación y ejecución eficiente de proyectos de ingeniería. Esta metodología permite descomponer y valorar individualmente los distintos componentes y actividades que conforman el diseño e instalación del sistema de abastecimiento de agua potable para la edificación multifamiliar ubicada en la parroquia Yanuncay, Cuenca.

En este estudio, el análisis se enfoca en tres subsistemas esenciales: la red de distribución de agua fría, la red de agua caliente sanitaria, y el sistema de bombeo de presión constante, con sus respectivas líneas de succión e impulsión. Esta estructuración facilita una evaluación detallada de los materiales, la mano de obra, el equipo y las herramientas necesarias para su implementación.

La metodología empleada considera los costos locales de mercado, los rendimientos de ejecución y las condiciones propias del proyecto. De esta manera, se asegura una estimación realista de la inversión requerida, optimizando los recursos disponibles y garantizando la viabilidad técnica y económica del sistema diseñado.

A continuación, se presentan los resultados del análisis de costos para cada subsistema, acompañados de gráficos y tablas que resumen la información obtenida. Como se observa en la **Figura 58** y **Figura 59**, se presenta el análisis de costos del subsistema de agua fría.

**Figura 58.** Análisis de costos del subsistema de la red de tuberías de agua fría

**PROYECTO: Sistema de abastecimiento de agua potable  
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

**NOMBRE DEL OFERENTE:** Water Solutions  
**PROYECTO:** Sistema de abastecimiento de agua potable  
**ITEM:** 1  
**DESCRIPCION:** Red de tubería de agua fría  
**UNIDAD:** u

**EQUIPO Y HERRAMIENTA**

DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA proceso B	RENDIMIENTO horas/UC	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor	3%MO			146,54
Sierra circular	4	10,00	5	200,00
Roscadora	3	15,00	6	270,00
Taladro	4	8,00	8	256,00
Llaves Stillson (Juego completo)	2	5,00	10	100,00
Llaves ajustables □	3	4,00	10	120,00
Cinta métrica □	4	2,00	15	120,00
Brochas y rodillos □	4	3,00	8	96,00
Equipo de protección personal (casco, guantes, lentes)	6	5,00	12	360,00
			<b>PARCIAL M</b>	<b>1668,54</b>

**MATERIALES**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U	COSTO TOTAL C=A*B
Tubería PVC SCH 40 (1/2 - 3/4 - 1 - 1 1/2 - 1 1/4)	u	147,00	19,03	2797,41
Codo Ranurado 90°	u	40,00	6,76	270,40
Unión Rígida Ranurada	u	20,00	4,09	81,80
Tee Ranurada	u	20,00	14,26	285,20
Cruz Ranurada	u	9,00	31,29	281,61
Abrazadera para Tubería	u	5,00	6,87	34,35
Filtro	u	1,00	45	45,00
Reducción Concéntrica Ranurada UL/FM – 4" X 3"	u	4,00	5,72	22,88
Medidores	u	3,00	120	360,00
Válvulas de globo	u	1,00	15	15,00
Válvulas de retención	u	4,00	6	24,00
			<b>PARCIAL N</b>	<b>4217,65</b>

**Figura 59.** Análisis de costos del subsistema de la red de tuberías de agua fría

**TRANSPORTE**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Transporte de materiales (Interno)	u	1	45,00	1	45,00
				<b>PARCIAL O</b>	<b>45,00</b>

**MANO DE OBRA**

DESCRIPCION		CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
Ingeniero Mecanico		2	6,00	240	2880,00
Ayudante Mecanico		1	4,50	240	1080,00
Técnico roscador		1	2,81	160	449,60
Soldador		1	2,97	160	475,20
				<b>PARCIAL P</b>	<b>4884,80</b>

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)</b>					<b>10815,99</b>
<b>VALOR PROPUESTO</b>					<b>10815,99</b>

En la **Figura 60** se presentan los resultados del análisis de costos de la red de tuberías de agua caliente.

**Figura 60.** Análisis de costos del subsistema de la red de tuberías de agua caliente

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>NOMBRE DEL OFERENTE:</b>		<b>Water Solutions</b>			
<b>PROYECTO:</b>		<b>Sistema de abastecimiento de agua potable</b>			
<b>ITEM:</b>		<b>2</b>			
<b>DESCRIPCION:</b>		<b>Red de tubería de agua caliente</b>			
<b>UNIDAD:</b>		<b>u</b>			

<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>					
DESCRIPCION		CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor		3%MO			132,29
Taladro percutor		4	8,00	8	256,00
Llaves Stillson (Juego completo)		2	5,00	10	100,00
Llaves ajustables		3	4,00	10	120,00
Cinta métrica		4	2,00	15	120,00
Brochas y rodillos(Para retoques de pintura)		4	3,00	8	96,00
Equipo de protección personal (casco, guantes, lentes)		6	5,00	12	360,00
				<b>PARCIAL M</b>	<b>1184,29</b>

<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U	COSTO TOTAL C=A*B
Tubería PVC SCH 40 (1/2 - 3/4 - 1 - 1 1/2 - 1 1/4)		u	96,00	23,03	2210,88
Codo Ranurado 90°		u	13,00	6,76	87,88
Unión Rígida Ranurada		u	20,00	4,09	81,80
Tee Ranurada		u	17,00	14,26	242,42
Cruz Ranurada		u	9,00	31,29	281,61
Abrazadera para Tubería		u	2,00	6,87	13,74
Reducción Concéntrica Ranurada		u	4,00	5,72	22,88
Válvulas de retención		u	4,00	6	24,00
				<b>PARCIAL N</b>	<b>2210,88</b>

<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Transporte de materiales (interno)	u	1	45,00	1	45,00
				<b>PARCIAL O</b>	<b>45,00</b>

<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION		CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
Ingeniero Mecanico		2	6,00	240	2880,00
Ayudante Mecanico		1	4,50	240	1080,00
Técnico roscador		1	2,81	160	449,60
Soldador		1	2,97	160	475,20
				<b>PARCIAL P</b>	<b>4409,60</b>

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)</b>					<b>3440,17</b>
<b>VALOR PROPUESTO</b>					<b>3440,17</b>

En la **Figura 61** se presentan los resultados del análisis de costos del cuarto de bombas donde se encuentra el sistema de bombeo y aparatos sanitarios.

**Figura 61.** Análisis de costos del subsistema de cuarto de bombas

**ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**  
**NOMBRE DEL OFERENTE:** Water Solutions  
**PROYECTO:** Sistema de abastecimiento de agua potable  
**ITEM:** 3  
**DESCRIPCIÓN:** Cuarto de bombas (equipo de bombeo y aparatos sanitarios)  
**UNIDAD:**

**EQUIPO Y HERRAMIENTA**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor (Taladro, brocas, llaves de boca, dados, etc)	3%MO			55,98
Taladro de Impacto de 1/2" 850w 2700rpm WESCO	1	\$5,00	4	20,00
Rotomartillo SDS Plus	1	\$8,00	5	40,00
Esmeril Angular	1	\$7,00	4	28,00
Roscadora Eléctrica	1	\$12,00	6	72,00
Prensa Hidráulica Portátil	1	\$10,00	3	30,00
Soldadora Inverter	1	\$15,00	5	75,00
Retroexcavadora	1	\$25,00	8	200,00
Carretilla Metálica	2	\$5,00	8	80,00
Compactadora Manual	1	\$15,00	4	60,00
Bomba de Prueba Hidráulica	1	\$9,00	2	18,00
			<b>PARCIAL M</b>	<b>678,98</b>

**MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIU B	COSTO TOTAL C=A*B
Conjunto Bomba de Presión Constante con VFD y tablero de control	u	1	\$3.000,00	3000,00
Tubería de succión	m	6	\$30,00	180,00
Tubería de descarga	m	6	\$35,00	210,00
Aparatos sanitarios (Lavabo, Ducha, Inodoro, fregaderos de cocina, lavadora)	u	28	\$120,00	3360,00
Equipos mecánicos (Calentadores)	u	3	\$400,00	1200,00
Codos de 90°	u	4	\$17,00	68,00
Válvula de retención (4")	u	1	\$400,00	400,00
Rejillas de ventilación	u	2	\$100,00	200,00
Extractores de aire	u	2	\$150,00	300,00
Conductos eléctricos adicionales	m	10	\$5,00	50,00
Cisterna de 13,5 m³ (prefabricada)	u	1	\$4.100,00	4100,00
Hormigón premezclado (f'c = 210 kg/cm²)	m³	4	\$120,00	480,00
Acero de refuerzo	kg	50	\$1,20	60,00
Cableado para sistema eléctrico	rollos	1	\$100,00	100,00
			<b>PARCIAL N</b>	<b>13708,00</b>

**TRANSPORTE**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Camión GYE (Proveedor)	u	1	\$180,00	1	180,00
				<b>PARCIAL O</b>	<b>180,00</b>

**MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Ingeniero Mecánico	2	\$6,00	48	576,00
Técnico mecánico	2	\$4,50	48	432,00
Ayudante mecánico	2	\$3,00	48	288,00
Estibadores	4	\$3,00	8	96,00
Técnico Electricista	1	\$5,00	16	80,00
Excavación y preparación (obra civil)	1	\$15,00	16	240,00
Ayudantes de obra (para limpieza y acabados)	2	\$3,50	16	112,00
Pintor	1	\$3,50	12	42,00
			<b>PARCIAL P</b>	<b>1866,00</b>

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)</b>				<b>14566,98</b>
<b>VALOR PROPUESTO</b>				<b>14566,98</b>

## 9. Resultados

### 9.1. Condiciones iniciales para el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable

Se levantó la información arquitectónica y funcional de la edificación, identificando: (i) la distribución de espacios por planta, (ii) el uso mixto (comercial-residencial), (iii) el inventario de aparatos hidrosanitarios y (iv) los parámetros normativos base (dotaciones, presiones mínimas y criterios de almacenamiento). Estos datos constituyen la línea base sobre la cual se calculan caudales de diseño, presiones requeridas y volúmenes de reserva.

La **Tabla 34** resume las principales características constructivas y funcionales del edificio analizado.

**Tabla 34.** Características generales de la edificación

Aspecto	Descripción
Área total del terreno	184.90 m <sup>2</sup>
Área construida bruta	515.90 m <sup>2</sup>
Número de niveles	Subsuelo + Planta baja + Primera planta + Segunda planta
Altura total sobre nivel cero	8.90 m
Altura del subsuelo respecto a nivel cero	-2.75 m
Uso principal	Comercial (planta baja) y residencial (plantas superiores)
Locales comerciales	2 (planta baja)
Unidades de vivienda	4 departamentos (plantas altas)
Elementos previstos	Cisterna y sistema de bombeo en subsuelo técnico
Sistema de bombeo proyectado	Presión constante, con dos bombas (1 operativa + 1 reserva)

La **Tabla 35** presenta la distribución de ambientes y superficies por nivel, incluyendo usos comerciales y residenciales.

**Tabla 35.** Distribución de ambientes y superficie por planta

<b>Planta</b>	<b>Ambiente</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
<b>Subsuelo</b>		
Subsuelo	Bodega 1	18.57
Subsuelo	Bodega 2	12.88
Subsuelo	Bodega 3	14.88
Subsuelo	Bodega 4	11.40
Subsuelo	Bodega 5	10.91
Subsuelo	Bodega 6	9.05
Subsuelo	Habitación técnica	35.61
Subsuelo	Cuarto de máquinas	6.41
<b>Planta baja</b>		
Planta baja	Local comercial 1	37.44
Planta baja	Local comercial 2	26.37
Planta baja	Área verde	41.68
Planta baja	Baño 1	2.62
Planta baja	Baño 2	4.52
<b>Primera planta</b>		
Primera planta	Dormitorio 1	15.73
Primera planta	Dormitorio 2	16.73
Primera planta	Comedor 1	29.16
Primera planta	Comedor 2	39.88
Primera planta	Baño 1	2.43
Primera planta	Baño 2	2.61
Primera planta	Baño 3	2.75
Primera planta	Baño 4	2.93
<b>Segunda planta</b>		
Segunda planta	Misma distribución que primera planta	109.49 (área equivalente)
<b>TOTAL SUPERFICIE CONSTRUIDA</b>		<b>515.90</b>

La **Tabla 36** muestra el resumen total de aparatos hidrosanitarios por planta, fundamentales para el cálculo de demanda.

**Tabla 36.** Resumen de aparatos hidrosanitarios por planta

Planta	Lavabos	Inodoros	Duchas	Fregaderos	Lavadora
Subsuelo	0	0	0	0	0
Planta baja (2 locales)	2	2	1	0	0
Primera planta	4	3	3	2	1
Segunda planta	4	3	3	2	1
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>

La **Tabla 37** establece los criterios normativos adoptados como base para el diseño del sistema de abastecimiento.

**Tabla 37.** Parámetros normativos base para el diseño

Variable	Criterio adoptado	Fuente
Dotación residencial	150 L/persona · día	NTE INEN 1108 / NEC-11 Cap. 16
Dotación comercio/oficinas	50–100 L/persona · día	NEC-11 Cap. 16
Presión mínima en terminales	$\geq 2-3$ m.c.a. (lavabos/duchas)	NEC-11 / AWWA
Presión máxima admisible	$\leq 60$ m.c.a.	NEC-11
Velocidad en tuberías internas	0.6–2.0 m/s	AWWA / práctica común
Volumen de reserva	$\geq 1$ día de dotación total	NTE INEN 1108, Art. 6.3

## 9.2. Diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable en base a normativa

El diseño se desarrolló siguiendo la NEC 2011 (Cap. 16), la NTE INEN 1108 y normativa AWWA. Se aplicó la siguiente secuencia metodológica: (1) estimación de dotaciones y población de diseño; (2) dimensionamiento del volumen de reserva (cisterna) y verificación del tiempo de llenado; (3) selección del tipo de sistema de abastecimiento; (4) definición de la configuración de la red y los materiales; (5) cálculo hidráulico de diámetros, presiones y pérdidas; (6) selección del sistema de bombeo; y (7) validación mediante simulaciones en Pipe Flow.

### 9.2.1. Paso 1: Dotaciones y población de diseño

La **Tabla 38** resume los valores normativos de dotación según el uso. Para la edificación (uso mixto: comercial-residencial) se adoptó un valor ponderado conservador de 150–200 L/persona · día.

**Tabla 38.** Dotaciones mínimas de consumo diario según uso

Uso	Dotación (L/persona · día)	Referencia
Residencial	150–200	NEC 2011, NTE INEN 1108
Locales comerciales/oficinas	50–100	NEC 2011, NTE INEN 1108

Esta tabla fija el rango normativo que se usa para estimar el consumo diario total y, posteriormente, el volumen de almacenamiento. El valor final escogido se justificó por el carácter multifamiliar y la presencia de locales comerciales.

### 9.2.2. Paso 2: Volumen de reserva y acometida a cisterna

Se dimensionó la cisterna para almacenar al menos un día de consumo. El volumen resultante fue de **13,5 m<sup>3</sup>**, cumpliendo el mínimo exigido. El tiempo máximo de llenado adoptado fue 8 h, lo que exige un caudal mínimo de 0,94 L/s. Se verificó hidráulicamente la acometida (**Tabla 39**) y el tramo hacia la cisterna (**Tabla 40**), confirmando presiones suficientes.

**Tabla 39.** Análisis de presión residual por tramos en la acometida

Tramo	$Q$ (L/s)	$v$ (m/s)	$D_i$ (mm)	$L_{tot}$ (m)	$H_f$ (m)	$h$ (m)	$P$ (m.c.a.)
1–2	0,50	1,50	20,7	1,81	0,2533	0,88	13,87
2–3	0,50	1,50	20,7	7,23	1,0105	0,00	12,86
3–4	0,50	1,50	20,7	2,07	0,2894	0,31	12,26
4–5	0,50	1,50	20,7	20,08	2,8077	0,00	9,45
5–6	0,50	1,50	20,7	4,33	0,6048	-0,33	<b>9,17</b>

**Tabla 40.** Análisis hidráulico de la acometida hacia la cisterna

Tramo	$Q$ (L/s)	$v$ (m/s)	$D_i$ (mm)	$L_{tot}$ (m)	$H_f$ (m)	$h$ (m)	$P$ (m.c.a.)
A–Cisterna	1,40	1,50	34,5	16,16	1,19	-5,00	<b>15,36</b>

Se adoptó una velocidad de diseño de 1,5 m/s y diámetros comerciales (PVC 1 1/4”) que aseguran el caudal de llenado. Las presiones finales (9,17 m.c.a. y 15,36 m.c.a.) superan los mínimos normativos (2–3 m.c.a. en terminales).

### 9.2.3. Paso 3: Selección del tipo de sistema

Mediante una tabla de ponderación (costo, confiabilidad, mantenimiento, adaptabilidad), el **sistema mixto** obtuvo el mayor puntaje (460), superando al directo e indirecto.

La **Tabla 41** compara tres tipos de sistemas de abastecimiento de agua según criterios técnicos y operativos, destacando el sistema mixto como la mejor opción.

**Tabla 41.** Ponderación para selección del tipo de sistema de abastecimiento

<b>Criterio</b>	<b>Peso (%)</b>	<b>Directo</b>	<b>Indirecto</b>	<b>Mixto</b>
Costo de instalación	30	5	3	4
Confiabilidad en todas las plantas	30	2	5	5
Facilidad de mantenimiento	20	5	3	4
Adaptabilidad multifamiliar	20	3	4	5
<b>Puntaje total</b>	<b>100</b>	<b>370</b>	<b>400</b>	<b>460</b>

El sistema mixto combina la alimentación directa en planta baja (aprovechando la presión de red) y el suministro indirecto por bombeo a plantas superiores, garantizando continuidad y flexibilidad operativa.

### 9.2.4. Paso 4: Configuración de la red y materiales

Se adoptó una **configuración tipo árbol** por su simplicidad y menor costo en edificaciones medianas. Para agua fría se seleccionó **PVC Schedule 40**; para agua caliente, **CPVC**. Las **Tablas 42 y 43** muestran las ponderaciones.

**Tabla 42.** Tabla de ponderación del material para agua fría

<b>Factor</b>	<b>Peso (%)</b>	<b>PVC Sch 40</b>	<b>PEX</b>	<b>Cobre</b>
Costo de instalación	30	5	3	2
Durabilidad	30	4	4	5
Facilidad de instalación	25	5	4	3
Compatibilidad con presión	15	4	4	5
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>460</b>	<b>390</b>	<b>395</b>

**Tabla 43.** Tabla de ponderación del material para agua caliente

<b>Factor</b>	<b>Peso (%)</b>	<b>CPVC</b>	<b>PEX</b>	<b>Cobre</b>
Resistencia a temperatura	35	5	4	5
Costo de instalación	25	4	3	2
Durabilidad	25	4	4	5
Compatibilidad presión/accesorios	15	5	4	5
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>460</b>	<b>395</b>	<b>455</b>

El PVC Sch 40 ofrece equilibrio costo–prestaciones para agua fría; el CPVC cumple con la resistencia térmica requerida para agua caliente sin disparar los costos.

### **9.2.5. Paso 5: Dimensionamiento hidráulico interno**

Los diámetros se obtuvieron con el método de Hunter (simultaneidad) y límites de velocidad (0,6–2,0 m/s). La ecuación base empleada fue:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

Se verificaron presiones mínimas  $\geq 2$  m.c.a. en puntos terminales y pérdidas de carga totales dentro del 10–20% de la HDT.

### 9.2.6. Paso 6: Sistema de bombeo

La Altura Dinámica Total resultó **HDT = 22,46 m.c.a.**, con un caudal de diseño de **73,2 L/min** (1,22 L/s). Se seleccionaron dos bombas centrífugas comerciales (*Pedrollo CP 160C*, 1,5 HP), una operativa y otra en reserva, para garantizar redundancia.

La **Tabla 44** resume los parámetros principales considerados para la selección del sistema de bombeo de presión constante.

**Tabla 44.** Resumen de selección de bombeo

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Caudal de diseño	73,2 L/min (1,22 L/s)
HDT calculada	22,46 m.c.a.
Potencia teórica	1,0 HP
Equipo seleccionado	2 bombas Pedrollo CP 160C (1,5 HP)
Configuración	Presión constante (1 operativa + 1 reserva)

Se sobredimensionó la potencia comercial (1,5 HP) respecto a la teórica (1 HP) para asegurar operación en el punto de mejor eficiencia y compensar variaciones de demanda/futuras ampliaciones.

### 9.2.7. Paso 7: Simulaciones en Pipe Flow

Se modelaron cinco escenarios (agua fría PB directa; agua fría PA; agua caliente PB; agua caliente PA, dos variantes). En todos los casos, las presiones residuales en los puntos más desfavorables superaron los mínimos normativos (2–3 m.c.a.). La **Tabla 45** sintetiza los resultados clave.

**Tabla 45.** Resumen de resultados de simulación en Pipe Flow

<b>Escenario</b>	$Q_{\text{máx}}$ (L/s)	$V_{\text{máx}}$ (m/s)	$P_{\text{mín}}$ (m.c.a.)	<b>Cumple</b>
AF Planta baja (directo)	0.37	0.80	12.0	Sí
AF Plantas altas (mixto)	1.20	1.30	9.0	Sí
AC Planta baja	0.40	1.10	3.2	Sí
AC Plantas altas (var. 1)	0.51	1.25	2.6	Sí
AC Plantas altas (var. 2)	0.51	1.20	2.4	Sí

*Nota:*  $Q_{\text{máx}}$  y  $V_{\text{máx}}$  corresponden al tramo de mayor demanda/velocidad reportado por Pipe Flow en cada escenario.  $P_{\text{mín}}$  es la presión en el punto más desfavorable (calentador o artefacto con mayor pérdida de carga). Todas las presiones superan los mínimos normativos (2–3 m.c.a. en terminales).

Las simulaciones confirman que el diseño mantiene presiones suficientes aun en el punto más desfavorable (calentador en planta alta). Las diferencias entre variantes de agua caliente se deben a rutas alternativas de ramales y accesorios, pero ambas cumplen.

### 9.3. Costos del sistema

En la **Figura 62** se muestra el costo total del sistema de abastecimiento de agua potable, el cual se compone de tres subsistemas.

**Figura 62.** Costo total del sistema de abastecimiento de agua potable

<b>ANÁLISIS DE COSTOS TOTALES</b>					
<i>Proyecto: Sistema de abastecimiento de agua potable</i>					
Fecha : 22 / 07 / 2025					
N°	Descripción	Unid.	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Red de tubería de agua fría	u	1	10815,99	10815,99
2	Red de tubería de agua caliente	u	1	3440,17	3440,17
3	Cuarto de bombas (equipo de bombeo y aparatos sanitarios)	u	1	14566,98	14566,98
				<b>TOTAL</b>	<b>28823,14</b>

## 10. Conclusiones

- **Condiciones iniciales del diseño.** Se levantó y sistematizó la información arquitectónica y funcional de la edificación (distribución de espacios, inventario de aparatos y parámetros normativos), estableciendo así la línea base para los cálculos de caudal, presión y almacenamiento. Esto permitió definir con precisión las necesidades hidráulicas de cada planta y los criterios de cumplimiento normativo.
- **Diseño del sistema en base a normativa.**

- Se seleccionó un **sistema mixto** (alimentación directa en planta baja y sistema indirecto con cisterna y bombeo para plantas superiores), justificando la elección mediante tablas de ponderación técnico–económicas.
  - El dimensionamiento hidráulico (método de Hunter y límites de velocidad) aseguró presiones dinámicas mínimas mayores a 2–3 m.c.a. en terminales críticos y pérdidas admisibles en toda la red.
  - Se calculó una **Altura Dinámica Total (HDT) de 22,46 m.c.a.** y un **caudal de bombeo de 1,22 L/s**; en consecuencia se seleccionaron dos bombas centrífugas Pedrollo CP 160C (1,5 HP), una operativa y otra de respaldo, configuradas para presión constante.
  - Las **simulaciones en Pipe Flow** (agua fría y caliente, plantas baja y altas) validaron que las presiones mínimas en los puntos más desfavorables superan los valores normativos, confirmando la funcionalidad del sistema diseñado.
- **Costos del sistema.** Mediante la metodología de *precios unitarios* se estimaron los costos de implementación por subsistemas (red de agua fría, agua caliente y cuarto de bombas), proporcionando una base sólida para la planificación financiera y la toma de decisiones.

## 11. Recomendaciones

Se sugiere mantener una verificación periódica del desempeño hidráulico del sistema, contrastando los resultados obtenidos con métodos alternativos de cálculo (por ejemplo, Hardy Cross o software como EPANET) para validar pérdidas de carga y longitudes equivalentes. Asimismo, resulta conveniente considerar en futuras mejoras un análisis de transitorios hidráulicos (golpe de ariete) y la eventual incorporación de variadores de frecuencia o dispositivos anti–golpe que protejan a las bombas y tuberías. El monitoreo continuo de presión y caudal, aun con sensores simples, facilitaría un mantenimiento preventivo y ajustes operativos oportunos sin alterar el concepto general del diseño.

Desde la perspectiva de sostenibilidad y gestión, es recomendable evaluar la viabilidad de integrar fuentes alternativas (captación pluvial o reutilización de aguas grises tratadas) que disminuyan la dependencia de la red pública. Además, la actualización periódica del análisis de costos unitarios y catálogos de equipos permitirá mantener vigente la estimación económica ante variaciones del mercado. Finalmente, conservar planos “as-built”, manuales de operación y un plan básico de capacitación para los usuarios y el personal de mantenimiento asegurará

la correcta operación del sistema a largo plazo, y un contraste eventual con otras normativas internacionales aportará criterios adicionales para futuras adaptaciones del proyecto.

## Referencias

- [1] GoConqr, “Principio de bernoulli,” 2024, consultado en junio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://www.goconqr.com/apunte/4093735/bernoulli>
- [2] Arco Válvulas, “Pruebas en una instalación: presión nominal y conceptos,” 2024, consultado en junio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://valvulasarco.com/pruebas-en-una-instalacion-presion-nominal-y-conceptos-a-aplicar/#ancla-2>
- [3] ResearchGate, “Régimen de flujo laminar y turbulento,” 2024, consultado en junio de 2025. [En Línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/figure/Regimen-de-Flujo-Fernandez-2002-Tanto-para-el-caso-de-flujo-laminar-o-turbulento-de\\_fig8\\_300147792](https://www.researchgate.net/figure/Regimen-de-Flujo-Fernandez-2002-Tanto-para-el-caso-de-flujo-laminar-o-turbulento-de_fig8_300147792)
- [4] Scribd, “Sistema directo de suministro de agua,” 2024, consultado en junio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/405018426/SISTEMA-DIRECTO-DE-SUMINISTRO-DE-AGUA-docx>
- [5] Slideshare, “Sistema indirecto de suministro de agua,” 2024, consultado en junio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/01-sistema-indirecto-1pdf/252141963>
- [6] ArchDaily, “Edificio residencial elka,” 2024, imagen consultada en julio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://www.archdaily.cl/cl/888878/edificio-residencial-elka-daal-studio-plus-elka-architects>
- [7] AQSO Arquitectos Office, “Arquitectura comercial,” 2024, imagen consultada en julio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://aqso.net/es/office/expertise/architecture/commercial>
- [8] TurboSquid, “Industrial building collection 01,” 2024, imagen consultada en julio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://www.turbosquid.com/es/3d-models/industrial-building-collection-01-model-1969980>
- [9] ARQA, “Edificios institucionales,” 2024, imagen consultada en julio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://arqa.com/tipologias/edificios-institucionales>
- [10] B. México. (2023) Trazos de sistemas contra incendios: ¿qué son y cuáles son comunes? [En Línea]. Disponible en: <https://www.blazemaster.com/blog-sp/trazos-sistemas-contra-incendios-que-son-cuales-mas-comunes>

- [11] INTERPRO y M. Vivar. (2021) Análisis de precios unitarios como técnica de estimación en proyectos de construcción. [En Línea]. Disponible en: <https://www.interpro.ec/blog/gestion-de-proyectos-4/analisis-de-precios-unitarios-1>
- [12] LSG Ingenieros, “Análisis de precios unitarios en proyectos de construcción,” 2024, imagen consultada en julio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://lsgingenieros.net/analisis-de-precios-unitarios-en-proyectos-de-construccion/>
- [13] J. P. Porto, “Presión hidrostática,” Jun 2021. [En Línea]. Disponible en: <https://definicion.de/presion-hidrostatica/>
- [14] F. A. Morales, *Abastecimiento de Agua Potable para Comunidades Rurales*. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala, 2015, consultado el 12 de abril de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://www.utmachala.edu.ec>
- [15] GEOHidráulica, “Sistema de bombeo: Tipos y sus funciones,” 2022, consultado el 12 de abril de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://geohidraulica.com/sistema-de-bombeo-tipos-y-sus-funciones/>
- [16] Rotoplast Centroamérica, “¿qué es una cisterna y para qué sirve?” 2021, consultado el 12 de abril de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://rotoplastcentroamerica.com/que-es-una-cisterna/>
- [17] A. Valdivielso, “¿qué es un caudal?” 2022, consultado el 12 de abril de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudal>
- [18] L. Torricelli, *Ingeniería Hidráulica Aplicada*. McGraw-Hill, 2012.
- [19] C. Maldonado, “Retos del diseño de redes de distribución de agua potable en zonas urbanas densas,” *Revista Técnica de Ingeniería Civil*, Vol. 24, No. 2, Págs. 45–58, 2018.
- [20] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), “Norma ecuatoriana de la construcción nec – 2011,” 2011, consultado en junio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://inmobiliariadja.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/nec2011-cap-16-norma-hidrosanitaria-nhe-agua-021412.pdf>
- [21] Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), “Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua,” 2014, disponible en: <https://www.regulacionagua.gob.ec>.
- [22] L. W. Mays, *Water Distribution Systems Handbook*. McGraw-Hill Professional, 2000.

- [23] A. M. Reinoso, “Análisis y diseño de sistemas hidráulicos en edificaciones residenciales,” 2019, tesis de grado, disponible en Repositorio UCuenca.
- [24] Organización Mundial de la Salud (OMS), “Agua, saneamiento e higiene (wash),” 2025, consultado en junio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- [25] Organización de las Naciones Unidas (ONU), “Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos,” 2023, consultado en junio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- [26] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), “Nte inen 1108: Instalaciones domiciliarias de agua potable para edificaciones,” 2011, consultado en junio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%201108%20-%20AGUA%20POTABLE.%20REQUISITOS.pdf>
- [27] Google Maps, “Ubicación del edificio en estudio - cuenca, ecuador,” <https://maps.app.goo.gl/MHuSX1jDrqpRFQvx9>, 2025, consultado el 14 de abril de 2025.
- [28] Organización Panamericana de la Salud (OPS), “Agua segura y salud en américa latina,” 2019, consultado en junio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/agua-saneamiento>
- [29] R. J. Ávila Alarcón, “Dimensionamiento hidráulico y criterios de selección de sistemas de abastecimiento de agua potable,” Master’s thesis, Universidad Técnica de Ambato, 2021, tesis de grado.
- [30] F. Bazzani Montoya, “Estrategias de diseño para garantizar abastecimiento continuo de agua potable,” Master’s thesis, Universidad Nacional de San Agustín, 2021, tesis de grado.
- [31] C. Peinado Medina, “Diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable en un edificio multifamiliar,” Master’s thesis, Universidad Nacional de Ingeniería, 2019, tesis de grado.
- [32] A. Franco, “Propuesta de un sistema hidráulico eficiente en edificaciones residenciales,” Master’s thesis, Universidad de Cuenca, 2020, tesis de grado.

- [33] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), *ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment*. ASHRAE, 2016, consultado en junio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook>
- [34] American Water Works Association (AWWA), *Manual M32 – Distribution System Requirements*. AWWA, 2015, disponible en: <https://www.awwa.org>.
- [35] Organización Panamericana de la Salud (OPS), “Manual de saneamiento básico,” 2020, consultado en junio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://www.paho.org/es>
- [36] J. Ramírez Pérez, “Estudio comparativo de métodos de cálculo de caudales en instalaciones interiores de agua,” Master’s thesis, Universidad Politécnica de Madrid, 2020, tesis de Máster en Ingeniería de la Construcción.
- [37] R. Hunter, *Methods of Estimating Loads in Plumbing Systems*. National Bureau of Standards, 1940.
- [38] V. L. Streeter, *Mecánica de Fluidos*. McGraw-Hill, 1994.
- [39] B. R. Munson, *Fundamentos de Mecánica de Fluidos*. John Wiley & Sons, 2003.
- [40] F. Cabrera, “Diseño de un sistema contra incendios para un edificio multifuncional en la ciudad de machala,” Master’s thesis, Universidad Politécnica Salesiana, 2024, tesis de grado. Documento en formato digital consultado en archivo personal.
- [41] World Health Organization, “Guidelines for drinking-water quality,” 2017, consultado en junio de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
- [42] J. C. Valiente, “Clasificación de edificaciones y su impacto en el diseño de redes hidráulicas,” *Revista de Ingeniería Civil*, Vol. 15, No. 2, Págs. 85–97, 2020.
- [43] National Fire Protection Association, *NFPA 14: Standard for the Installation of Standpipe and Hose Systems*. NFPA, 2019, norma técnica para sistemas de tuberías verticales. [En Línea]. Disponible en: <https://www.nfpa.org/>
- [44] S. Ediciones, *Manual de presupuestos y control de obra*. Susaeta, 2013.

# **ANEXOS**

## **Anexo A: Catálogo de la Bomba CP 160C marca pedrollo**

Se presenta el catálogo informativo de la Bomba seleccionada CP 160C marca pedrollo.

## Electrobombas centrífugas

-  Agua limpia
-  Utilizo civil
-  Utilizo agrícola
-  Utilizo industrial



### CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **900 l/min** (54 m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica hasta **106 m**

### LIMITES DE UTILIZO

- Altura de aspiración manométrica hasta **7 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C** hasta **+90 °C**
- Temperatura ambiente de **-10 °C** hasta **+40 °C**
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba **11 bar**
- Funcionamiento continuo **S1**

### EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1  
IEC 60335-1  
CEI 61-150

EN 60034-1  
IEC 60034-1  
CEI 2-3



### CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV  
ISO 9001: CALIDAD  
ISO 14001: AMBIENTE

### UTILIZOS E INSTALACIONES

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.

Por su confiabilidad y simplicidad encuentran un amplio utilizo en el sector civil, agrícola e industrial, para el suministro de agua, para instalaciones de acondicionamiento o di enfriamiento, para la irrigación, etc.

La instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

### PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Modelo comunitario registrado n° 002098434 para CP 160, CP 210, CP 750-N
- Modelo italiano registrado n° 72753 para CP 680, CP 700

### EJECUCION BAJO PEDIDO

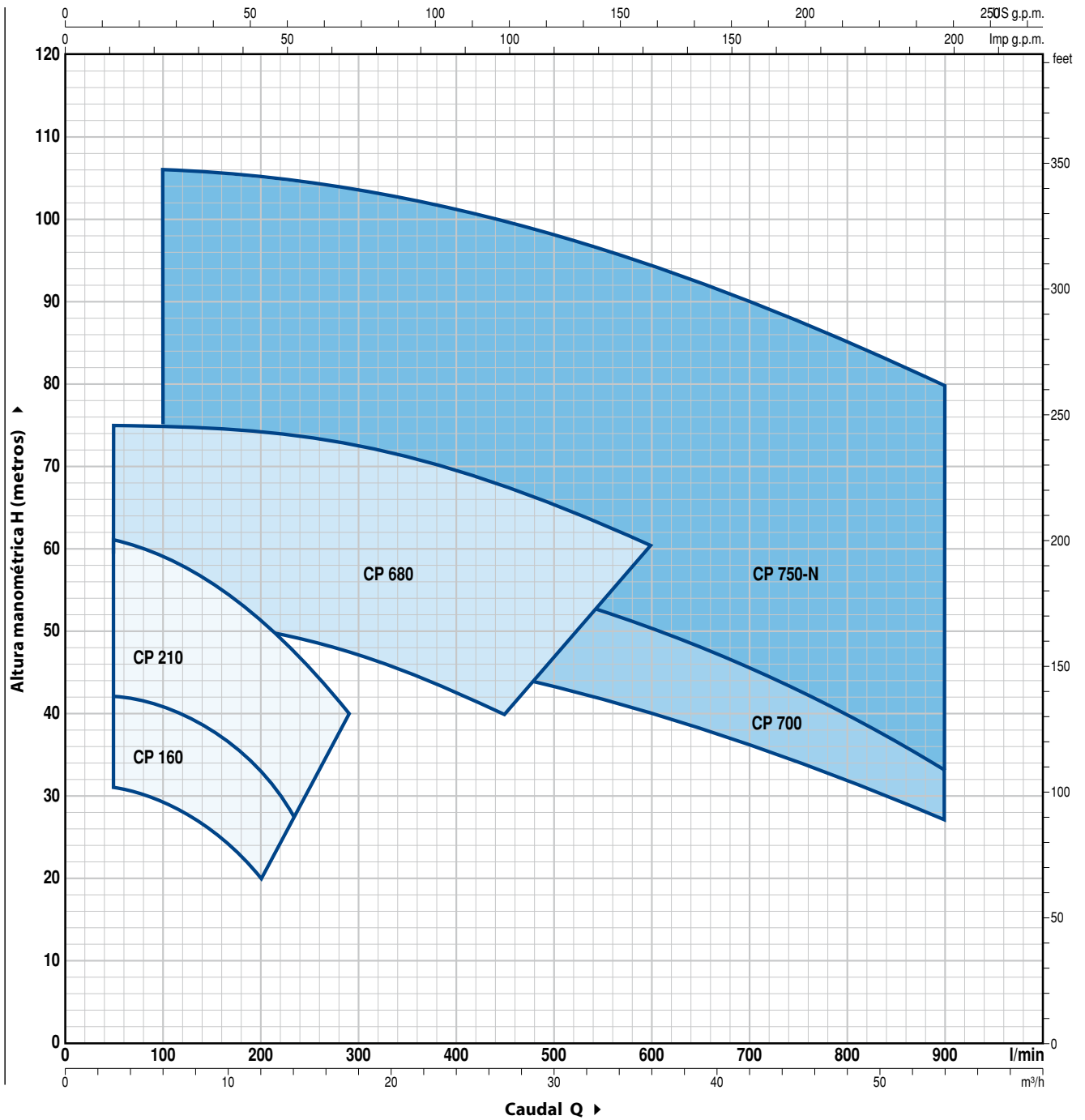
- Sello mecánico especial
- Eje motor en acero inoxidable EN 10088-3 - 1.4401 (AISI 316) para CP 680, CP 700, 750
- Otros voltajes
- Protección IP X5 para CP 160

### GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

**CAMPO DE PRESTACIONES**

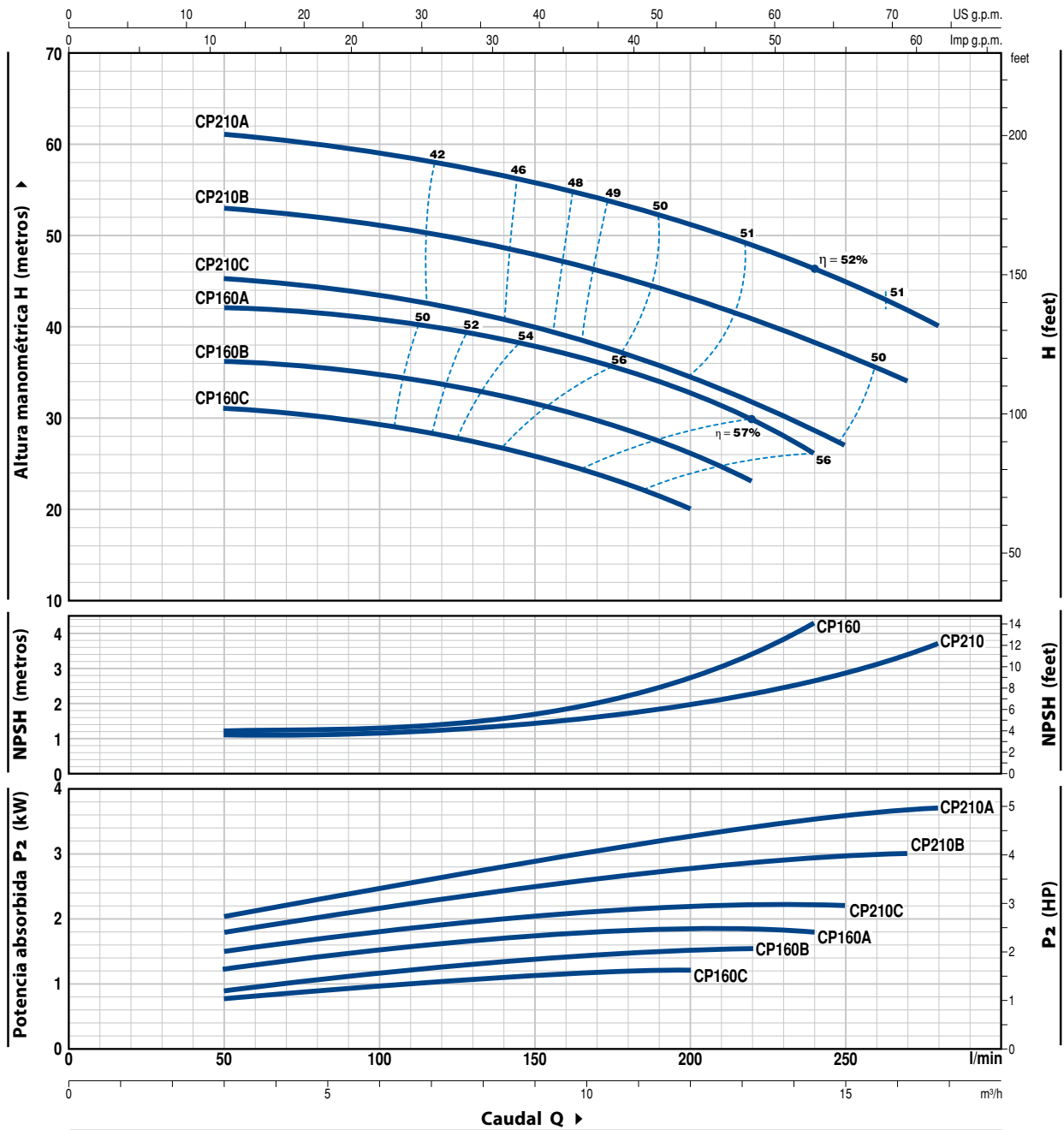
**60 Hz n= 3450 min<sup>-1</sup> HS= 0 m**



# CP 160-210

## CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 min<sup>-1</sup> HS= 0 m



MODELO		POTENCIA (P <sub>2</sub> )			Q	H metros															
Monofásica	Trifásica	kW	HP	▲		0	3	4.5	6	7.5	9	10.5	12	13.2	14.4	15	16.2	16.8			
					0	50	75	100	125	150	175	200	220	240	250	270	280				
CPm 160C	CP 160C	1.1	1.5	IE2	32	31	30.5	29.5	28	26	23	20									
CPm 160B	CP 160B	1.5	2	IE3	37	36	35.5	34.5	33.5	31.5	29	26.5	23								
-	CP 160A	2.2	3		43	42	41.5	40.5	39.5	38	35.5	33	30	26							
CPm 210C	CP 210C	2.2	3		46	45.5	44.5	43.5	42	40	37.5	34.5	32	28.5	27						
-	CP 210B	3	4		54	53	52	51	49.5	48	45.5	43	40	38.5	37	34					
-	CP 210A	4	5.5		61	61	60	59	57.5	56	53.5	51	49	46.5	45	42	40				

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

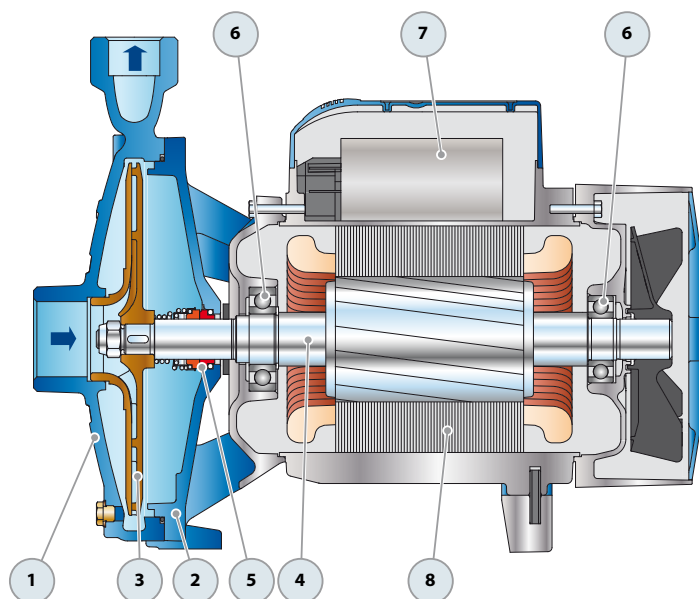
Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)

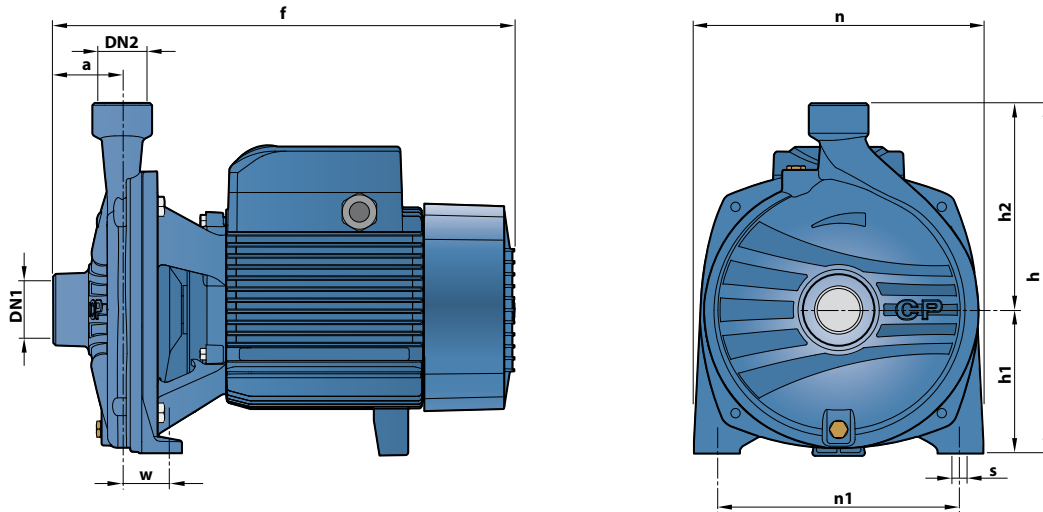
# CP 160-210

## POS. COMPONENTE CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

1	<b>CUERPO BOMBA</b>	Hierro fundido con bocas roscadas ISO 228/1				
2	<b>TAPA</b>	Hierro fundido				
3	<b>RODETE</b>	Latón				
4	<b>EJE MOTOR</b>	Acero inoxidable EN 10088-3 - 1.4104				
5	<b>SELLO MECANICO</b>	<b>Electrobomba</b>	<b>Sello</b>	<b>Eje</b>	<b>Materiales</b>	
		<i>Modelo</i>	<i>Modelo</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Anillo fijo</i>	<i>Anillo móvil</i> <i>Elastómero</i>
		CP 160	FN-18	Ø 18 mm	Grafito	Cerámica    NBR
		CP 210	FN-24	Ø 24 mm	Grafito	Cerámica    NBR
6	<b>RODAMIENTOS</b>	<b>Electrobomba</b>	<b>Modelo</b>			
		CP 160	6204 ZZ / 6204 ZZ			
		CP 210	6206 ZZ - C3 / 6205 ZZ			
7	<b>CONDENSADOR</b>	<b>Electrobomba</b>	<b>Capacidad</b>			
		<i>Monofásica</i>	<i>(220 V)</i>	<i>(110 V o 127 V)</i>		
		CPm 160C	31.5 µF - 450 VL	60 µF - 250 VL		
		CPm 160B	45 µF - 450 VL	80 µF - 250 VL		
		CPm 210C	70 µF - 450 VL	-		
8	<b>MOTOR ELECTRICO</b>	<p><b>CPm:</b> monofásica 220 V - 60 Hz con protección térmica incorporada en el bobinado (hasta 1.5 kW).</p> <p><b>CP:</b> trifásica 220/380 V - 60 Hz o 220/440 V - 60 Hz.</p> <p>⇒ <b>Las electrobombas trifásicas están equipadas con motores de alto rendimiento en clase IE2 hasta P<sub>2</sub>=1.1 kW y en clase IE3 desde P<sub>2</sub>=1.5 kW (IEC 60034-30-1)</b></p> <p>- Aislamiento: clase F</p> <p>- Protección: IP X4</p>				



## DIMENSIONES Y PESOS



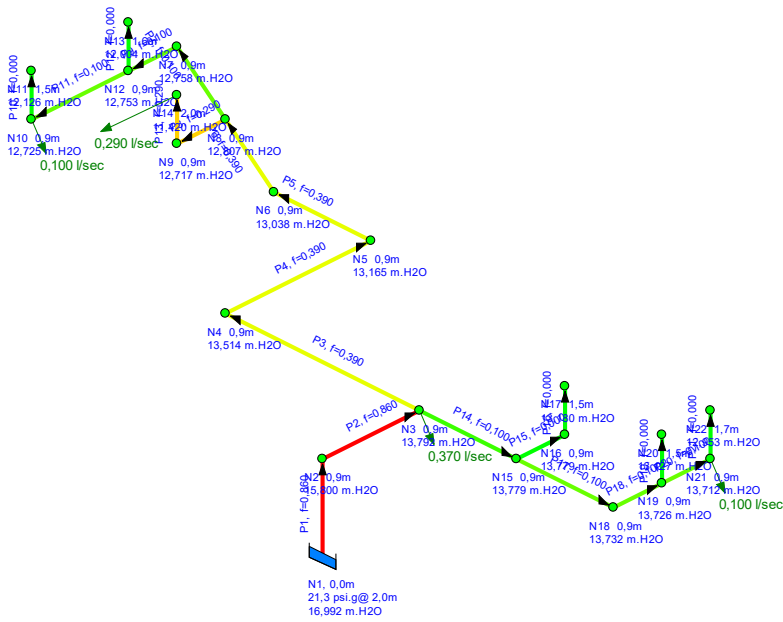
MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm								kg		
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	n	n1	w	s	1~	3~
CPm 160C	CP 160C	1½"	1"	54	373	260	110	150	207	165	44.5	11	19.7	17.7
CPm 160B	CP 160B												21.0	21.0
-	CP 160A												-	21.0
CPm 210C	CP 210C			60	402	305	125	180	252	210	39.5	11	26.0	27.5
-	CP 210B												-	30.0
-	CP 210A												-	32.0

## CONSUMO EN AMPERIOS

MODELO	TENSION		
	220 V	110 V	127 V
CPm 160C	9.0 A	18.0 A	16.5 A
CPm 160B	10.5 A	21.0 A	19.3 A
CPm 210C	15.0 A	-	-

MODELO	TENSION			
	220 V	380 V	220 V	440 V
CP 160C	6.1 A	3.5 A	5.5 A	3.0 A
CP 160B	6.9 A	4.0 A	6.9 A	3.7 A
CP 160A	9.5 A	5.5 A	9.2 A	4.9 A
CP 210C	9.0 A	5.1 A	8.6 A	4.8 A
CP 210B	13.0 A	7.5 A	11.5 A	6.0 A
CP 210A	18.2 A	10.5 A	16.0 A	9.0 A

## **Anexo B: Simulación en Pipe Flow del Sistema de Agua Fría en la planta Baja**



## Fluid Data

Zone	Fluid Name	Chemical Formula	Temperature °C	Pressure m.H2O	Density kg/m <sup>3</sup>	Centistokes	Centipoise	Vapour Pressure m.H2O.a	State
1	Water	H2O	20,000	0,000	998,000000	1,000000	1,002000	0,244732	Liquid

## Pipe Data

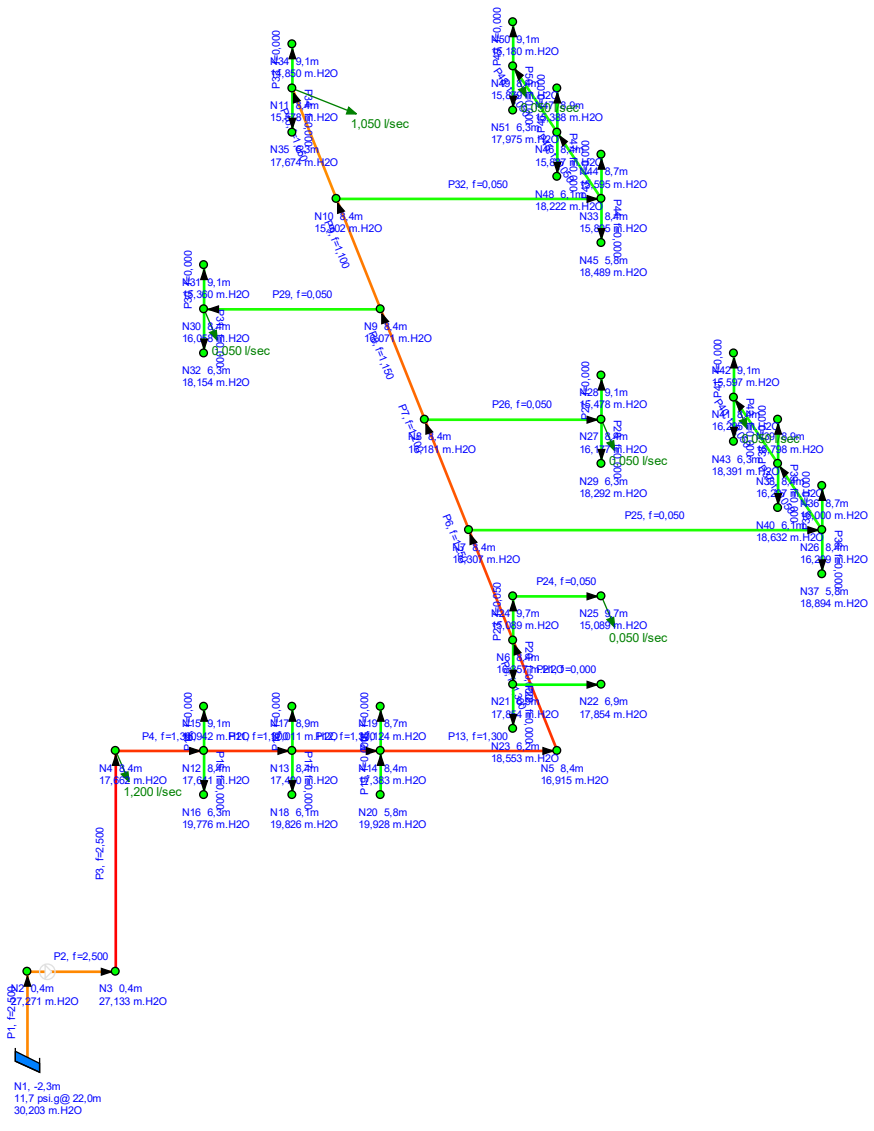
Pipe Id	Pipe Name and Notes	Inner Diameter mm	Length m	Mass Flow kg/sec	Vol Flow l/sec	Velocity m/sec	dP Total Loss m.H2O	Entry Pressure m.H2O	Exit Pressure m.H2O
1	P1	20,930	0,900	0,8583	0,860	2,500	1,193	16,992	15,800
2	P2	20,930	6,130	0,8583	0,860	2,500	2,007	15,800	13,792
3	P3	20,930	3,500	0,3892	0,390	1,134	0,278	13,792	13,514
4	P4	20,930	4,400	0,3892	0,390	1,134	0,350	13,514	13,165
5	P5	20,930	1,600	0,3892	0,390	1,134	0,127	13,165	13,038
6	P6	20,930	2,900	0,3892	0,390	1,134	0,230	13,038	12,807
7	P7	15,799	1,760	0,0998	0,100	0,510	0,049	12,807	12,758
8	P8	15,799	0,500	0,2894	0,290	1,479	0,091	12,807	12,717
9	P9	15,799	0,200	0,0998	0,100	0,510	0,006	12,758	12,753
10	P10	15,799	0,600	0,0000	0,000	0,000	0,599	12,725	12,126
11	P11	15,799	1,000	0,0998	0,100	0,510	0,028	12,753	12,725
12	P12	15,799	0,750	0,0000	0,000	0,000	0,749	12,753	12,004
13	P13	15,799	1,100	0,2894	0,290	1,479	1,297	12,717	11,420
14	P14	20,930	1,760	0,0998	0,100	0,291	0,013	13,792	13,779
15	P15	20,930	0,400	0,0000	0,000	0,000	0,000	13,779	13,779
16	P16	20,930	0,600	0,0000	0,000	0,000	0,599	13,779	13,180
17	P17	15,799	1,700	0,0998	0,100	0,510	0,047	13,779	13,732
18	P18	15,799	0,230	0,0998	0,100	0,510	0,006	13,732	13,726
19	P19	15,799	0,600	0,0000	0,000	0,000	0,599	13,726	13,127
20	P20	15,799	0,500	0,0998	0,100	0,510	0,014	13,726	13,712
21	P21	15,799	0,760	0,0000	0,000	0,000	0,758	13,712	12,953

## Node Data

Node Id	Node Type	Node	Elevation m	Liquid Level m	Surface Press. psi.g	Press. at Node m.H2O	HGL at Node m.hd Fluid	Demand In (Mass) kg/sec	Demand Out (Mass) kg/sec	Demand In (Vol) @ Fluid Zone Density Downstream l/sec	Demand Out (Vol) @ Fluid Zone Density Downstream l/sec
1	Tank	N1	0,000	2,000	21,3300	16,992	17,027	N/A	N/A	N/A	N/A
2	Join Point	N2	0,900	N/A	N/A	15,800	16,731	0,0000	0,0000	0,000	0,000
3	Join Point	N3	0,900	N/A	N/A	13,792	14,720	0,0000	0,3693	0,000	0,370
4	Join Point	N4	0,900	N/A	N/A	13,514	14,441	0,0000	0,0000	0,000	0,000
5	Join Point	N5	0,900	N/A	N/A	13,165	14,091	0,0000	0,0000	0,000	0,000
6	Join Point	N6	0,900	N/A	N/A	13,038	13,964	0,0000	0,0000	0,000	0,000
7	Join Point	N7	0,900	N/A	N/A	12,758	13,684	0,0000	0,0000	0,000	0,000
8	Join Point	N8	0,900	N/A	N/A	12,807	13,733	0,0000	0,0000	0,000	0,000
9	Join Point	N9	0,900	N/A	N/A	12,717	13,642	0,0000	0,0000	0,000	0,000
10	Join Point	N10	0,900	N/A	N/A	12,725	13,650	0,0000	0,0998	0,000	0,100
11	Join Point	N11	1,500	N/A	N/A	12,126	13,650	0,0000	0,0000	0,000	0,000
12	Join Point	N12	0,900	N/A	N/A	12,753	13,678	0,0000	0,0000	0,000	0,000
13	Join Point	N13	1,650	N/A	N/A	12,004	13,678	0,0000	0,0000	0,000	0,000
14	Join Point	N14	2,000	N/A	N/A	11,420	13,443	0,0000	0,2894	0,000	0,290
15	Join Point	N15	0,900	N/A	N/A	13,779	14,707	0,0000	0,0000	0,000	0,000
16	Join Point	N16	0,900	N/A	N/A	13,779	14,707	0,0000	0,0000	0,000	0,000
17	Join Point	N17	1,500	N/A	N/A	13,180	14,707	0,0000	0,0000	0,000	0,000
18	Join Point	N18	0,900	N/A	N/A	13,732	14,659	0,0000	0,0000	0,000	0,000
19	Join Point	N19	0,900	N/A	N/A	13,726	14,653	0,0000	0,0000	0,000	0,000
20	Join Point	N20	1,500	N/A	N/A	13,127	14,653	0,0000	0,0000	0,000	0,000
21	Join Point	N21	0,900	N/A	N/A	13,712	14,639	0,0000	0,0998	0,000	0,100
22	Join Point	N22	1,660	N/A	N/A	12,953	14,639	0,0000	0,0000	0,000	0,000

## **Anexo C: Simulación en Pipe Flow del Sistema de Agua Fría en la planta Alta**

Pipe Flow Expert Results Key	
f = flow in l/sec	Color of Pipe Velocity in m/sec
	0,000 0,518 1,036 1,554 2,073 2,591



## Fluid Data

Zone	Fluid Name	Chemical Formula	Temperature °C	Pressure m.H2O	Density kg/m <sup>3</sup>	Centistokes	Centipoise	Vapour Pressure m.H2O.a	State
1	Water	H2O	20,000	0,000	998,000000	1,000000	1,002000	0,244732	Liquid

## Pipe Data

Pipe Id	Pipe Name and Notes	Inner Diameter mm	Length m	Mass Flow kg/sec	Vol Flow l/sec	Velocity m/sec	dP Total Loss m.H2O	Entry Pressure m.H2O	Exit Pressure m.H2O
1	P1	40,894	2,700	2,4950	2,500	1,903	2,932	30,203	27,271
2	P2	40,894	1,560	2,4950	2,500	1,903	0,137	27,271	27,133
3	P3	35,052	8,000	2,4950	2,500	2,591	9,471	27,133	17,662
4	P4	26,645	0,100	1,2974	1,300	2,331	0,021	17,662	17,641
5	P5	26,645	2,600	1,2974	1,300	2,331	0,558	16,915	16,357
6	P6	26,645	0,250	1,2475	1,250	2,242	0,050	16,357	16,307
7	P7	26,645	0,680	1,1976	1,200	2,152	0,126	16,307	16,181
8	P8	26,645	0,640	1,1477	1,150	2,062	0,110	16,181	16,071
9	P9	26,645	1,060	1,0978	1,100	1,973	0,168	16,071	15,902
10	P10	26,645	2,220	1,0479	1,050	1,883	0,324	15,902	15,578
11	P11	26,645	0,700	1,2974	1,300	2,331	0,150	17,641	17,490
12	P12	26,645	0,500	1,2974	1,300	2,331	0,107	17,490	17,383
13	P13	26,645	2,180	1,2974	1,300	2,331	0,468	17,383	16,915
14	P14	15,799	0,700	0,0000	0,000	0,000	0,699	17,641	16,942
15	P15	15,799	2,140	0,0000	0,000	0,000	-2,136	17,641	19,776
16	P16	15,799	0,480	0,0000	0,000	0,000	0,479	17,490	17,011
17	P17	15,799	2,340	0,0000	0,000	0,000	-2,335	17,490	19,826
18	P18	15,799	0,260	0,0000	0,000	0,000	0,259	17,383	17,124
19	P19	15,799	2,550	0,0000	0,000	0,000	2,545	19,928	17,383
20	P20	26,645	1,500	0,0000	0,000	0,000	-1,497	16,357	17,854
21	P21	26,645	2,180	0,0000	0,000	0,000	0,000	17,854	17,854
22	P22	26,645	0,700	0,0000	0,000	0,000	-0,699	17,854	18,553
23	P23	26,645	1,270	0,0499	0,050	0,090	1,268	16,357	15,089
24	P24	26,645	0,800	0,0499	0,050	0,090	0,000	15,089	15,089
25	P25	20,930	3,000	0,0499	0,050	0,145	0,008	16,307	16,299
26	P26	20,930	1,600	0,0499	0,050	0,145	0,004	16,181	16,177
27	P27	15,799	0,700	0,0000	0,000	0,000	0,699	16,177	15,478
28	P28	15,799	2,120	0,0000	0,000	0,000	-2,116	16,177	18,292
29	P29	20,930	4,800	0,0499	0,050	0,145	0,013	16,071	16,058
30	P30	15,799	0,700	0,0000	0,000	0,000	0,699	16,058	15,360
31	P31	15,799	2,100	0,0000	0,000	0,000	-2,096	16,058	18,154
32	P32	20,930	3,000	0,0499	0,050	0,145	0,008	15,902	15,895
33	P33	15,799	0,730	0,0000	0,000	0,000	0,729	15,578	14,850
34	P34	15,799	2,100	0,0000	0,000	0,000	-2,096	15,578	17,674
35	P35	15,799	0,300	0,0000	0,000	0,000	0,299	16,299	16,000
36	P36	15,799	2,600	0,0000	0,000	0,000	-2,595	16,299	18,894

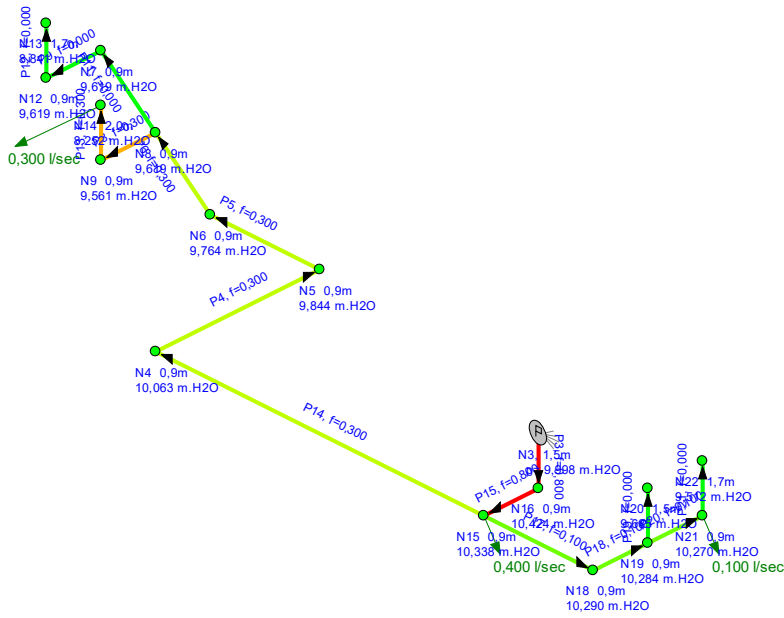
Pipe Id	Pipe Name and Notes	Inner Diameter mm	Length m	Mass Flow kg/sec	Vol Flow l/sec	Velocity m/sec	dP Total Loss m.H2O	Entry Pressure m.H2O	Exit Pressure m.H2O
37	P37	20,930	1,000	0,0499	0,050	0,145	0,003	16,299	16,297
38	P38	15,799	0,500	0,0000	0,000	0,000	0,499	16,297	15,798
39	P39	15,799	2,340	0,0000	0,000	0,000	-2,335	16,297	18,632
40	P40	20,930	0,500	0,0499	0,050	0,145	0,001	16,297	16,295
41	P41	15,799	0,700	0,0000	0,000	0,000	0,699	16,295	15,597
42	P42	15,799	2,100	0,0000	0,000	0,000	-2,096	16,295	18,391
43	P43	15,799	0,300	0,0000	0,000	0,000	0,299	15,895	15,595
44	P44	15,799	2,600	0,0000	0,000	0,000	-2,595	15,895	18,489
45	P45	20,930	3,000	0,0499	0,050	0,145	0,008	15,895	15,887
46	P46	15,799	0,500	0,0000	0,000	0,000	0,499	15,887	15,388
47	P47	15,799	2,340	0,0000	0,000	0,000	-2,335	15,887	18,222
48	P48	20,930	3,000	0,0499	0,050	0,145	0,008	15,887	15,879
49	P49	15,799	0,700	0,0000	0,000	0,000	0,699	15,879	15,180
50	P50	15,799	2,100	0,0000	0,000	0,000	-2,096	15,879	17,975

## Node Data

Node Id	Node Type	Node	Elevation m	Liquid Level m	Surface Press. psi.g	Press. at Node m.H2O	HGL at Node m.hd Fluid	Demand In (Mass) kg/sec	Demand Out (Mass) kg/sec	Demand In (Vol) @ Fluid Zone Density Downstream l/sec	Demand Out (Vol) @ Fluid Zone Density Downstream l/sec
1	Tank	N1	-2,300	22,000	11,7300	30,203	27,964	N/A	N/A	N/A	N/A
2	Join Point	N2	0,400	N/A	N/A	27,271	27,725	0,0000	0,0000	0,000	0,000
3	Join Point	N3	0,400	N/A	N/A	27,133	27,587	0,0000	0,0000	0,000	0,000
4	Join Point	N4	8,400	N/A	N/A	17,662	26,097	0,0000	1,1976	0,000	1,200
5	Join Point	N5	8,400	N/A	N/A	16,915	25,349	0,0000	0,0000	0,000	0,000
6	Join Point	N6	8,400	N/A	N/A	16,357	24,790	0,0000	0,0000	0,000	0,000
7	Join Point	N7	8,400	N/A	N/A	16,307	24,740	0,0000	0,0000	0,000	0,000
8	Join Point	N8	8,400	N/A	N/A	16,181	24,613	0,0000	0,0000	0,000	0,000
9	Join Point	N9	8,400	N/A	N/A	16,071	24,503	0,0000	0,0000	0,000	0,000
10	Join Point	N10	8,400	N/A	N/A	15,902	24,334	0,0000	0,0000	0,000	0,000
11	Join Point	N11	8,400	N/A	N/A	15,578	24,009	0,0000	1,0479	0,000	1,050
12	Join Point	N12	8,400	N/A	N/A	17,641	26,076	0,0000	0,0000	0,000	0,000
13	Join Point	N13	8,400	N/A	N/A	17,490	25,925	0,0000	0,0000	0,000	0,000
14	Join Point	N14	8,400	N/A	N/A	17,383	25,818	0,0000	0,0000	0,000	0,000
15	Join Point	N15	9,100	N/A	N/A	16,942	26,076	0,0000	0,0000	0,000	0,000
16	Join Point	N16	6,260	N/A	N/A	19,776	26,076	0,0000	0,0000	0,000	0,000
17	Join Point	N17	8,880	N/A	N/A	17,011	25,925	0,0000	0,0000	0,000	0,000
18	Join Point	N18	6,060	N/A	N/A	19,826	25,925	0,0000	0,0000	0,000	0,000
19	Join Point	N19	8,660	N/A	N/A	17,124	25,818	0,0000	0,0000	0,000	0,000
20	Join Point	N20	5,850	N/A	N/A	19,928	25,818	0,0000	0,0000	0,000	0,000
21	Join Point	N21	6,900	N/A	N/A	17,854	24,790	0,0000	0,0000	0,000	0,000
22	Join Point	N22	6,900	N/A	N/A	17,854	24,790	0,0000	0,0000	0,000	0,000
23	Join Point	N23	6,200	N/A	N/A	18,553	24,790	0,0000	0,0000	0,000	0,000
24	Join Point	N24	9,670	N/A	N/A	15,089	24,789	0,0000	0,0000	0,000	0,000
25	Join Point	N25	9,670	N/A	N/A	15,089	24,789	0,0000	0,0499	0,000	0,050
26	Join Point	N26	8,400	N/A	N/A	16,299	24,732	0,0000	0,0000	0,000	0,000
27	Join Point	N27	8,400	N/A	N/A	16,177	24,609	0,0000	0,0499	0,000	0,050
28	Join Point	N28	9,100	N/A	N/A	15,478	24,609	0,0000	0,0000	0,000	0,000
29	Join Point	N29	6,280	N/A	N/A	18,292	24,609	0,0000	0,0000	0,000	0,000
30	Join Point	N30	8,400	N/A	N/A	16,058	24,490	0,0000	0,0499	0,000	0,050
31	Join Point	N31	9,100	N/A	N/A	15,360	24,490	0,0000	0,0000	0,000	0,000
32	Join Point	N32	6,300	N/A	N/A	18,154	24,490	0,0000	0,0000	0,000	0,000
33	Join Point	N33	8,400	N/A	N/A	15,895	24,326	0,0000	0,0000	0,000	0,000
34	Join Point	N34	9,130	N/A	N/A	14,850	24,009	0,0000	0,0000	0,000	0,000
35	Join Point	N35	6,300	N/A	N/A	17,674	24,009	0,0000	0,0000	0,000	0,000
36	Join Point	N36	8,700	N/A	N/A	16,000	24,732	0,0000	0,0000	0,000	0,000

Node Id	Node Type	Node	Elevation m	Liquid Level m	Surface Press. psi.g	Press. at Node m.H2O	HGL at Node m.hd Fluid	Demand In (Mass) kg/sec	Demand Out (Mass) kg/sec	Demand In (Vol) @ Fluid Zone Density Downstream l/sec	Demand Out (Vol) @ Fluid Zone Density Downstream l/sec
37	Join Point	N37	5,800	N/A	N/A	18,894	24,732	0,0000	0,0000	0,000	0,000
38	Join Point	N38	8,400	N/A	N/A	16,297	24,729	0,0000	0,0000	0,000	0,000
39	Join Point	N39	8,900	N/A	N/A	15,798	24,729	0,0000	0,0000	0,000	0,000
40	Join Point	N40	6,060	N/A	N/A	18,632	24,729	0,0000	0,0000	0,000	0,000
41	Join Point	N41	8,400	N/A	N/A	16,295	24,728	0,0000	0,0499	0,000	0,050
42	Join Point	N42	9,100	N/A	N/A	15,597	24,728	0,0000	0,0000	0,000	0,000
43	Join Point	N43	6,300	N/A	N/A	18,391	24,728	0,0000	0,0000	0,000	0,000
44	Join Point	N44	8,700	N/A	N/A	15,595	24,326	0,0000	0,0000	0,000	0,000
45	Join Point	N45	5,800	N/A	N/A	18,489	24,326	0,0000	0,0000	0,000	0,000
46	Join Point	N46	8,400	N/A	N/A	15,887	24,319	0,0000	0,0000	0,000	0,000
47	Join Point	N47	8,900	N/A	N/A	15,388	24,319	0,0000	0,0000	0,000	0,000
48	Join Point	N48	6,060	N/A	N/A	18,222	24,319	0,0000	0,0000	0,000	0,000
49	Join Point	N49	8,400	N/A	N/A	15,879	24,311	0,0000	0,0499	0,000	0,050
50	Join Point	N50	9,100	N/A	N/A	15,180	24,311	0,0000	0,0000	0,000	0,000
51	Join Point	N51	6,300	N/A	N/A	17,975	24,311	0,0000	0,0000	0,000	0,000

## **Anexo D: Simulación en Pipe Flow del Sistema de Agua Caliente en la planta Baja**



## Fluid Data

Zone	Fluid Name	Chemical Formula	Temperature °C	Pressure m.H2O	Density kg/m <sup>3</sup>	Centistokes	Centipoise	Vapour Pressure m.H2O.a	State
1	Water	H2O	20,000	0,000	998,000000	1,000000	1,002000	0,244732	Liquid

## Pipe Data

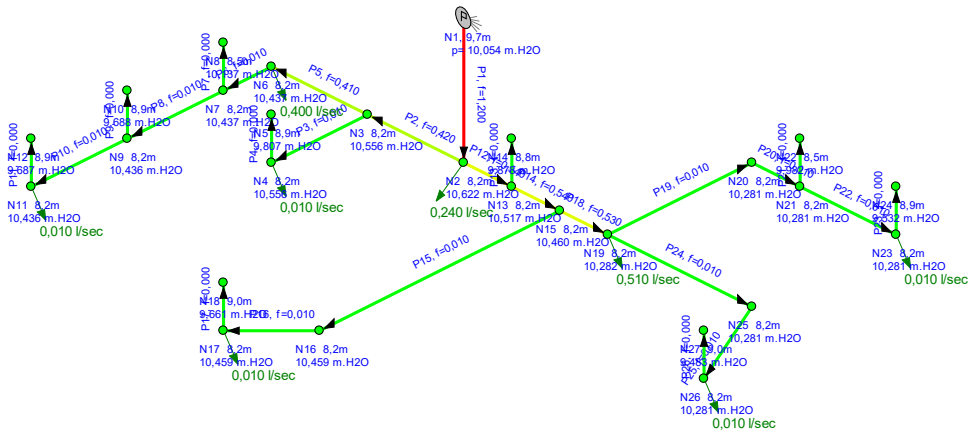
Pipe Id	Pipe Name and Notes	Inner Diameter mm	Length m	Mass Flow kg/sec	Vol Flow l/sec	Velocity m/sec	dP Total Loss m.H2O	Entry Pressure m.H2O	Exit Pressure m.H2O
3	P3	20,930	0,600	0,7984	0,800	2,325	-0,426	9,998	10,424
4	P4	20,930	4,400	0,2994	0,300	0,872	0,220	10,063	9,844
5	P5	20,930	1,600	0,2994	0,300	0,872	0,080	9,844	9,764
6	P6	20,930	2,900	0,2994	0,300	0,872	0,145	9,764	9,619
8	P8	15,799	0,300	0,2994	0,300	1,530	0,058	9,619	9,561
9	P9	15,799	0,400	0,0000	0,000	0,000	0,000	9,619	9,619
11	P11	20,930	1,800	0,0000	0,000	0,000	0,000	9,619	9,619
12	P12	15,799	0,780	0,0000	0,000	0,000	0,778	9,619	8,841
13	P13	15,799	1,100	0,2994	0,300	1,530	1,309	9,561	8,252
14	P14	20,930	5,500	0,2994	0,300	0,872	0,275	10,338	10,063
15	P15	20,930	0,300	0,7984	0,800	2,325	0,086	10,424	10,338
17	P17	15,799	1,700	0,0998	0,100	0,510	0,047	10,338	10,290
18	P18	15,799	0,230	0,0998	0,100	0,510	0,006	10,290	10,284
19	P19	15,799	0,600	0,0000	0,000	0,000	0,599	10,284	9,685
20	P20	15,799	0,500	0,0998	0,100	0,510	0,014	10,284	10,270
21	P21	15,799	0,760	0,0000	0,000	0,000	0,758	10,270	9,512

## Node Data

Node Id	Node Type	Node	Elevation m	Liquid Level m	Surface Press. psi.g	Press. at Node m.H2O	HGL at Node m.hd Fluid	Demand In (Mass) kg/sec	Demand Out (Mass) kg/sec	Demand In (Vol) @ Fluid Zone Density Downstream l/sec	Demand Out (Vol) @ Fluid Zone Density Downstream l/sec
3	Demand Pressure	N3	1,500	N/A	14,2200	9,998	11,518	N/A	N/A	N/A	N/A
4	Join Point	N4	0,900	N/A	N/A	10,063	10,983	0,0000	0,0000	0,000	0,000
5	Join Point	N5	0,900	N/A	N/A	9,844	10,763	0,0000	0,0000	0,000	0,000
6	Join Point	N6	0,900	N/A	N/A	9,764	10,683	0,0000	0,0000	0,000	0,000
7	Join Point	N7	0,900	N/A	N/A	9,619	10,538	0,0000	0,0000	0,000	0,000
8	Join Point	N8	0,900	N/A	N/A	9,619	10,538	0,0000	0,0000	0,000	0,000
9	Join Point	N9	0,900	N/A	N/A	9,561	10,480	0,0000	0,0000	0,000	0,000
12	Join Point	N12	0,900	N/A	N/A	9,619	10,538	0,0000	0,0000	0,000	0,000
13	Join Point	N13	1,680	N/A	N/A	8,841	10,538	0,0000	0,0000	0,000	0,000
14	Join Point	N14	2,000	N/A	N/A	8,252	10,268	0,0000	0,2994	0,000	0,300
15	Join Point	N15	0,900	N/A	N/A	10,338	11,259	0,0000	0,3992	0,000	0,400
16	Join Point	N16	0,900	N/A	N/A	10,424	11,345	0,0000	0,0000	0,000	0,000
18	Join Point	N18	0,900	N/A	N/A	10,290	11,211	0,0000	0,0000	0,000	0,000
19	Join Point	N19	0,900	N/A	N/A	10,284	11,205	0,0000	0,0000	0,000	0,000
20	Join Point	N20	1,500	N/A	N/A	9,685	11,205	0,0000	0,0000	0,000	0,000
21	Join Point	N21	0,900	N/A	N/A	10,270	11,191	0,0000	0,0998	0,000	0,100
22	Join Point	N22	1,660	N/A	N/A	9,512	11,191	0,0000	0,0000	0,000	0,000

## **Anexo E: Simulación en Pipe Flow del Sistema de Agua Caliente en la primera planta**

Pipe Flow Expert Results Key	0.000	0.200	1.200	2.000	2.750	3.400
Flow Velocity (m/sec)	0.000	0.200	1.200	2.000	2.750	3.400



## Fluid Data

Zone	Fluid Name	Chemical Formula	Temperature °C	Pressure m.H2O	Density kg/m <sup>3</sup>	Centistokes	Centipoise	Vapour Pressure m.H2O.a	State
1	Water	H2O	20,000	0,000	998,000000	1,000000	1,002000	0,244732	Liquid

## Pipe Data

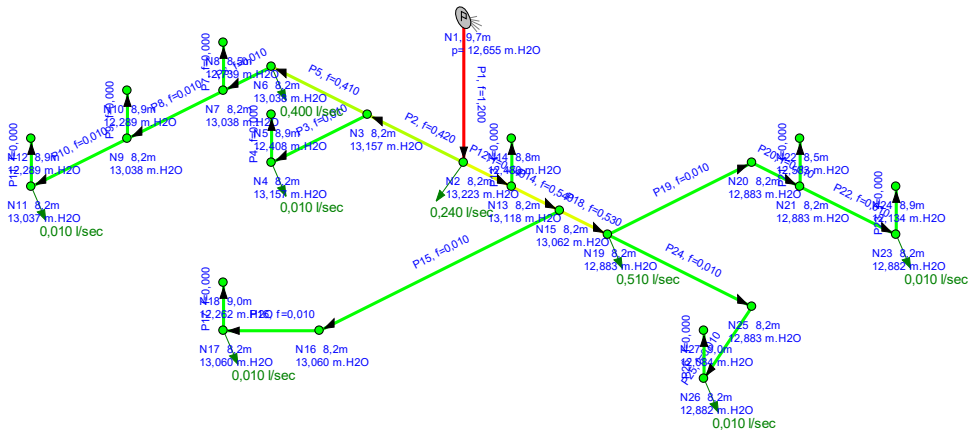
Pipe Id	Pipe Name and Notes	Inner Diameter mm	Length m	Mass Flow kg/sec	Vol Flow l/sec	Velocity m/sec	dP Total Loss m.H2O	Entry Pressure m.H2O	Exit Pressure m.H2O
1	P1	20,930	1,500	1,1976	1,200	3,488	-0,568	10,054	10,622
2	P2	20,930	0,730	0,4192	0,420	1,221	0,066	10,622	10,556
3	P3	20,930	1,230	0,0100	0,010	0,029	0,000	10,556	10,556
4	P4	20,930	0,750	0,0000	0,000	0,000	0,749	10,556	9,807
5	P5	20,930	1,370	0,4092	0,410	1,192	0,119	10,556	10,437
6	P6	20,930	0,400	0,0100	0,010	0,029	0,000	10,437	10,437
7	P7	20,930	0,300	0,0000	0,000	0,000	0,299	10,437	10,137
8	P8	20,930	1,600	0,0100	0,010	0,029	0,000	10,437	10,436
9	P9	20,930	0,750	0,0000	0,000	0,000	0,749	10,436	9,688
10	P10	20,930	2,200	0,0100	0,010	0,029	0,000	10,436	10,436
11	P11	20,930	0,750	0,0000	0,000	0,000	0,749	10,436	9,687
12	P12	20,930	0,740	0,5389	0,540	1,570	0,105	10,622	10,517
13	P13	20,930	0,640	0,0000	0,000	0,000	0,639	10,517	9,878
14	P14	20,930	0,400	0,5389	0,540	1,570	0,057	10,517	10,460
15	P15	20,930	5,000	0,0100	0,010	0,029	0,001	10,460	10,459
16	P16	20,930	0,400	0,0100	0,010	0,029	0,000	10,459	10,459
17	P17	20,930	0,800	0,0000	0,000	0,000	0,798	10,459	9,661
18	P18	20,930	1,300	0,5289	0,530	1,540	0,178	10,460	10,282
19	P19	20,930	2,500	0,0100	0,010	0,029	0,001	10,282	10,281
20	P20	20,930	0,300	0,0100	0,010	0,029	0,000	10,281	10,281
21	P21	20,930	0,300	0,0000	0,000	0,000	0,299	10,281	9,982
22	P22	20,930	1,200	0,0100	0,010	0,029	0,000	10,281	10,281
23	P23	20,930	0,750	0,0000	0,000	0,000	0,749	10,281	9,532
24	P24	20,930	1,900	0,0100	0,010	0,029	0,000	10,282	10,281
25	P25	20,930	2,300	0,0100	0,010	0,029	0,000	10,281	10,281
26	P26	20,930	0,800	0,0000	0,000	0,000	0,798	10,281	9,483

## Node Data

Node Id	Node Type	Node	Elevation m	Liquid Level m	Surface Press. psi.g	Press. at Node m.H2O	HGL at Node m.hd Fluid	Demand In (Mass) kg/sec	Demand Out (Mass) kg/sec	Demand In (Vol) @ Fluid Zone Density Downstream l/sec	Demand Out (Vol) @ Fluid Zone Density Downstream l/sec
1	Demand Pressure	N1	9,670	N/A	14,3000	10,054	19,744	N/A	N/A	N/A	N/A
2	Join Point	N2	8,200	N/A	N/A	10,622	18,843	0,0000	0,2395	0,000	0,240
3	Join Point	N3	8,200	N/A	N/A	10,556	18,777	0,0000	0,0000	0,000	0,000
4	Join Point	N4	8,200	N/A	N/A	10,556	18,777	0,0000	0,0100	0,000	0,010
5	Join Point	N5	8,950	N/A	N/A	9,807	18,777	0,0000	0,0000	0,000	0,000
6	Join Point	N6	8,200	N/A	N/A	10,437	18,658	0,0000	0,3992	0,000	0,400
7	Join Point	N7	8,200	N/A	N/A	10,437	18,658	0,0000	0,0000	0,000	0,000
8	Join Point	N8	8,500	N/A	N/A	10,137	18,658	0,0000	0,0000	0,000	0,000
9	Join Point	N9	8,200	N/A	N/A	10,436	18,657	0,0000	0,0000	0,000	0,000
10	Join Point	N10	8,950	N/A	N/A	9,688	18,657	0,0000	0,0000	0,000	0,000
11	Join Point	N11	8,200	N/A	N/A	10,436	18,657	0,0000	0,0100	0,000	0,010
12	Join Point	N12	8,950	N/A	N/A	9,687	18,657	0,0000	0,0000	0,000	0,000
13	Join Point	N13	8,200	N/A	N/A	10,517	18,738	0,0000	0,0000	0,000	0,000
14	Join Point	N14	8,840	N/A	N/A	9,878	18,738	0,0000	0,0000	0,000	0,000
15	Join Point	N15	8,200	N/A	N/A	10,460	18,681	0,0000	0,0000	0,000	0,000
16	Join Point	N16	8,200	N/A	N/A	10,459	18,680	0,0000	0,0000	0,000	0,000
17	Join Point	N17	8,200	N/A	N/A	10,459	18,680	0,0000	0,0100	0,000	0,010
18	Join Point	N18	9,000	N/A	N/A	9,661	18,680	0,0000	0,0000	0,000	0,000
19	Join Point	N19	8,200	N/A	N/A	10,282	18,502	0,0000	0,5090	0,000	0,510
20	Join Point	N20	8,200	N/A	N/A	10,281	18,502	0,0000	0,0000	0,000	0,000
21	Join Point	N21	8,200	N/A	N/A	10,281	18,502	0,0000	0,0000	0,000	0,000
22	Join Point	N22	8,500	N/A	N/A	9,982	18,502	0,0000	0,0000	0,000	0,000
23	Join Point	N23	8,200	N/A	N/A	10,281	18,502	0,0000	0,0100	0,000	0,010
24	Join Point	N24	8,950	N/A	N/A	9,532	18,502	0,0000	0,0000	0,000	0,000
25	Join Point	N25	8,200	N/A	N/A	10,281	18,502	0,0000	0,0000	0,000	0,000
26	Join Point	N26	8,200	N/A	N/A	10,281	18,502	0,0000	0,0100	0,000	0,010
27	Join Point	N27	9,000	N/A	N/A	9,483	18,502	0,0000	0,0000	0,000	0,000

## **Anexo F: Simulación en Pipe Flow del Sistema de Agua Caliente en la segunda planta**

Flow Velocity (m/sec)
0.000
0.200
0.400
0.600
0.800
1.000



## Fluid Data

Zone	Fluid Name	Chemical Formula	Temperature °C	Pressure m.H2O	Density kg/m <sup>3</sup>	Centistokes	Centipoise	Vapour Pressure m.H2O.a	State
1	Water	H2O	20,000	0,000	998,000000	1,000000	1,002000	0,244732	Liquid

## Pipe Data

Pipe Id	Pipe Name and Notes	Inner Diameter mm	Length m	Mass Flow kg/sec	Vol Flow l/sec	Velocity m/sec	dP Total Loss m.H2O	Entry Pressure m.H2O	Exit Pressure m.H2O
1	P1	20,930	1,500	1,1976	1,200	3,488	-0,568	12,655	13,223
2	P2	20,930	0,730	0,4192	0,420	1,221	0,066	13,223	13,157
3	P3	20,930	1,230	0,0100	0,010	0,029	0,000	13,157	13,157
4	P4	20,930	0,750	0,0000	0,000	0,000	0,749	13,157	12,408
5	P5	20,930	1,370	0,4092	0,410	1,192	0,119	13,157	13,038
6	P6	20,930	0,400	0,0100	0,010	0,029	0,000	13,038	13,038
7	P7	20,930	0,300	0,0000	0,000	0,000	0,299	13,038	12,739
8	P8	20,930	1,600	0,0100	0,010	0,029	0,000	13,038	13,038
9	P9	20,930	0,750	0,0000	0,000	0,000	0,749	13,038	12,289
10	P10	20,930	2,200	0,0100	0,010	0,029	0,000	13,038	13,037
11	P11	20,930	0,750	0,0000	0,000	0,000	0,749	13,037	12,289
12	P12	20,930	0,740	0,5389	0,540	1,570	0,105	13,223	13,118
13	P13	20,930	0,640	0,0000	0,000	0,000	0,639	13,118	12,480
14	P14	20,930	0,400	0,5389	0,540	1,570	0,057	13,118	13,062
15	P15	20,930	5,000	0,0100	0,010	0,029	0,001	13,062	13,060
16	P16	20,930	0,400	0,0100	0,010	0,029	0,000	13,060	13,060
17	P17	20,930	0,800	0,0000	0,000	0,000	0,798	13,060	12,262
18	P18	20,930	1,300	0,5289	0,530	1,540	0,178	13,062	12,883
19	P19	20,930	2,500	0,0100	0,010	0,029	0,001	12,883	12,883
20	P20	20,930	0,300	0,0100	0,010	0,029	0,000	12,883	12,883
21	P21	20,930	0,300	0,0000	0,000	0,000	0,299	12,883	12,583
22	P22	20,930	1,200	0,0100	0,010	0,029	0,000	12,883	12,882
23	P23	20,930	0,750	0,0000	0,000	0,000	0,749	12,882	12,134
24	P24	20,930	1,900	0,0100	0,010	0,029	0,000	12,883	12,883
25	P25	20,930	2,300	0,0100	0,010	0,029	0,000	12,883	12,882
26	P26	20,930	0,800	0,0000	0,000	0,000	0,798	12,882	12,084

## Node Data

Node Id	Node Type	Node	Elevation m	Liquid Level m	Surface Press. psi.g	Press. at Node m.H2O	HGL at Node m.hd Fluid	Demand In (Mass) kg/sec	Demand Out (Mass) kg/sec	Demand In (Vol) @ Fluid Zone Density Downstream l/sec	Demand Out (Vol) @ Fluid Zone Density Downstream l/sec
1	Demand Pressure	N1	9,670	N/A	18,0000	12,655	22,351	N/A	N/A	N/A	N/A
2	Join Point	N2	8,200	N/A	N/A	13,223	21,450	0,0000	0,2395	0,000	0,240
3	Join Point	N3	8,200	N/A	N/A	13,157	21,383	0,0000	0,0000	0,000	0,000
4	Join Point	N4	8,200	N/A	N/A	13,157	21,383	0,0000	0,0100	0,000	0,010
5	Join Point	N5	8,950	N/A	N/A	12,408	21,383	0,0000	0,0000	0,000	0,000
6	Join Point	N6	8,200	N/A	N/A	13,038	21,264	0,0000	0,3992	0,000	0,400
7	Join Point	N7	8,200	N/A	N/A	13,038	21,264	0,0000	0,0000	0,000	0,000
8	Join Point	N8	8,500	N/A	N/A	12,739	21,264	0,0000	0,0000	0,000	0,000
9	Join Point	N9	8,200	N/A	N/A	13,038	21,264	0,0000	0,0000	0,000	0,000
10	Join Point	N10	8,950	N/A	N/A	12,289	21,264	0,0000	0,0000	0,000	0,000
11	Join Point	N11	8,200	N/A	N/A	13,037	21,263	0,0000	0,0100	0,000	0,010
12	Join Point	N12	8,950	N/A	N/A	12,289	21,263	0,0000	0,0000	0,000	0,000
13	Join Point	N13	8,200	N/A	N/A	13,118	21,345	0,0000	0,0000	0,000	0,000
14	Join Point	N14	8,840	N/A	N/A	12,480	21,345	0,0000	0,0000	0,000	0,000
15	Join Point	N15	8,200	N/A	N/A	13,062	21,288	0,0000	0,0000	0,000	0,000
16	Join Point	N16	8,200	N/A	N/A	13,060	21,287	0,0000	0,0000	0,000	0,000
17	Join Point	N17	8,200	N/A	N/A	13,060	21,287	0,0000	0,0100	0,000	0,010
18	Join Point	N18	9,000	N/A	N/A	12,262	21,287	0,0000	0,0000	0,000	0,000
19	Join Point	N19	8,200	N/A	N/A	12,883	21,109	0,0000	0,5090	0,000	0,510
20	Join Point	N20	8,200	N/A	N/A	12,883	21,108	0,0000	0,0000	0,000	0,000
21	Join Point	N21	8,200	N/A	N/A	12,883	21,108	0,0000	0,0000	0,000	0,000
22	Join Point	N22	8,500	N/A	N/A	12,583	21,108	0,0000	0,0000	0,000	0,000
23	Join Point	N23	8,200	N/A	N/A	12,882	21,108	0,0000	0,0100	0,000	0,010
24	Join Point	N24	8,950	N/A	N/A	12,134	21,108	0,0000	0,0000	0,000	0,000
25	Join Point	N25	8,200	N/A	N/A	12,883	21,109	0,0000	0,0000	0,000	0,000
26	Join Point	N26	8,200	N/A	N/A	12,882	21,108	0,0000	0,0100	0,000	0,010
27	Join Point	N27	9,000	N/A	N/A	12,084	21,108	0,0000	0,0000	0,000	0,000