

**Diseño de un sistema de potabilización y distribución de agua mediante bombeo para el complejo Bosques de Florencia ubicado en la zona rural de la ciudad de Tunja (Boyacá)**

**John Freddy Gómez Daza**

**Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil**

**Director**

**Ingeniero Marlon Leonardo Rodríguez Sierra**

**Máster en Ingeniería Civil**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**División de Ingenierías y Arquitectura**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**2022**

### **Dedicatoria**

A Dios, quien me proporcionó la fe, la fortaleza necesaria para salir siempre adelante pese a las dificultades, por colocarme en el mejor camino iluminando cada etapa de mi vida y por darme la salud y esperanza para terminar este proyecto de grado.

A mis padres y hermanos, por darme la estabilidad emocional, económica y sobre todo su infinito apoyo para poder alcanzar este logro.

A mis docentes, por compartir incondicional, generosa y especialmente sus conocimientos académicos.

Al personal directivo y administrativo de la facultad, por brindarme todas las facilidades a lo largo de estos años de formación académica.

A mis compañeros de estudio, por brindarme su amistad y apoyo moral.

### **Agradecimientos**

A los ingenieros y docentes de la facultad involucrados, mi más sincero agradecimiento por su constante apoyo para la realización del presente proyecto de grado, al mismo tiempo por brindarme su amistad incondicional y a todas aquellas personas que he conocido a lo largo de mi vida estudiantil y que aportaron con sus valiosos conocimientos.

Finalmente quiero agradecer a todas las personas que de alguna manera hicieron posible la terminación de este proyecto de grado y no han sido mencionadas, gracias a todos.

## Contenido

Introducción .....	18
1. Diseño de un sistema de potabilización y distribución de agua mediante bombeo para el complejo Bosques de Florencia ubicado en la zona rural de la ciudad de Tunja (Boyacá) .....	20
1.1 Problema .....	20
1.2 Justificación .....	21
1.3 Objetivos .....	22
1.3.1 Objetivo general .....	22
1.3.2 Objetivos específicos.....	22
2. Marco referencial.....	23
2.1 Marco contextual.....	23
2.1.1 Localización geográfica .....	23
2.1.2 Clima .....	24
2.1.3 Hidrografía .....	24
2.1.4 Topografía .....	24
2.1.5 Bosques de Florencia.....	25
2.2 Marco Teórico.....	25
2.2.1 Calidad del agua .....	25
2.2.2 Flujo en canal abierto .....	26
2.2.3 Población y periodo de diseño.....	29
2.2.4 Filtración en múltiples etapas (FIME).....	29
2.2.5 Desinfección por medio de luz ultravioleta.....	30

2.2.6	Dimensionamiento del tanque superficial .....	32
2.2.7	Diseño de sistemas de agua potable para edificaciones .....	32
2.2.8	Sistemas hidroneumáticos .....	41
2.3	Marco Legal .....	42
2.3.1	Decreto 1076 de 2015.....	42
2.3.2	Resolución 2115 de 2007 .....	43
2.3.3	Resolución 0330 de 2017 (RAS 2000).....	43
2.3.4	Norma Técnica Colombiana NTC1500.....	43
3.	Método.....	44
3.1	Ocupación .....	44
3.2	Instrumentos de recolección y manejo de datos.....	44
3.3	Procedimiento .....	45
3.3.1	Etapa 1. Determinación de los componentes y evaluación del sistema existente. ....	45
3.3.2	Etapa 2. Tratabilidad del agua cruda. ....	47
3.3.3	Etapa 3. Diseño del mejoramiento del sistema de distribución.....	49
4.	Resultados.....	54
4.1	Calidad de agua cruda y estado actual del sistema de abastecimiento.....	54
4.1.1	Informe de resultados de muestras de agua cruda.....	54
4.1.2	Registros de población flotante que concurre a las instalaciones .....	57
4.1.3	Cotas de puntos de acometida .....	58
4.1.4	Caudales y presiones medidas en los puntos.....	58

4.2	Memorias de cálculo de la planta de tratamiento.....	58
4.2.1	Elementos de diseño.....	58
4.2.2	Cálculo de unidad de entrada.....	59
4.2.3	Cálculo de filtración FIME.....	62
4.2.4	Sistemas de drenaje.....	63
4.2.5	Medios de soporte y lechos filtrantes.....	64
4.2.6	Unidad de desinfección.....	65
4.2.7	Cálculo del tanque de contacto.....	66
4.2.8	Cálculo del sistema de almacenamiento.....	67
4.2.9	Planos de la planta de tratamiento de agua.....	68
4.3	Memorias de cálculo de la red hidráulica con sistema de bombeo.....	68
4.3.1	Cálculo de redes internas de cada edificación.....	68
4.3.2	Cálculo de redes externas.....	70
4.3.3	Cálculo del sistema de bombeo.....	76
4.3.4	Planos de la red de distribución de agua potable.....	78
5.	Discusión.....	79
6.	Conclusiones.....	81
	Referencias.....	83
	Apéndices.....	87

**Lista de Figuras**

<b>Figura 1.</b> <i>Representación de Filtración en Múltiples Etapas [19].</i> .....	29
<b>Figura 2.</b> <i>Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos en la salida del pozo profundo</i> .....	55
<b>Figura 3.</b> <i>Parámetros obtenidos en la salida del tanque de almacenamiento después del pozo ..</i>	56
<b>Figura 4.</b> <i>Histórico anual de población flotante en eventos y reuniones.</i> .....	57
<b>Figura 5.</b> <i>Especificaciones de tubería en PVC RDE 21 PAVCO[23].</i> .....	59
<b>Figura 6.</b> <i>Ejecución del software HCanales para cálculo de la pendiente</i> .....	60
<b>Figura 7.</b> <i>Ilustración propia en alzado de etapas FGD<sub>i</sub>, FGAS y FLA</i> .....	64
<b>Figura 8.</b> <i>Ilustración de filtro UV marca SYNERTECH [25]</i> .....	66
<b>Figura 9.</b> <i>Trazo propio de red externa abierta con numeración de nodos</i> .....	71
<b>Figura 10.</b> <i>Especificaciones de tanques con membrana de tipo Hidroneumático “EVANS”</i> .....	77
<b>Figura 11.</b> <i>Esquema de elaboración propia de conexión para bombeo Hidroneumático</i> .....	78

### Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> <i>Indicadores para determinar la calidad del agua</i> .....	26
<b>Tabla 2.</b> <i>Constante K en función de la capacidad en Volumen de un tanque</i> .....	32
<b>Tabla 3.</b> <i>Unidades de abastecimiento o de consumo</i> .....	34
<b>Tabla 4.</b> <i>Longitudes equivalentes de los accesorios tipo</i> .....	40
<b>Tabla 5.</b> <i>Fases de diseño para planta de tratamiento</i> .....	48
<b>Tabla 6.</b> <i>Cálculo para bombeo hidroneumático</i> .....	53
<b>Tabla 7.</b> <i>Cotas en puntos de acometida para cada edificación</i> .....	58
<b>Tabla 8.</b> <i>Resultados de cálculos de elementos de diseño</i> .....	59
<b>Tabla 9.</b> <i>Cálculo de unidad de entrada FIME</i> .....	61
<b>Tabla 10.</b> <i>Cálculo unidad de entrada interconexiones FIME</i> .....	61
<b>Tabla 11.</b> <i>Cálculo de filtración FIME</i> .....	62
<b>Tabla 12.</b> <i>Diámetros de drenajes perforados en tubería PVC</i> .....	63
<b>Tabla 13.</b> <i>Niveles de medios filtrantes para Filtros FGD<sub>i</sub>, FGAS y FLA</i> .....	65
<b>Tabla 14.</b> <i>Especificaciones técnicas de filtro Ultravioleta marca SYNERTECH</i> .....	66
<b>Tabla 15.</b> <i>Cálculo del tanque de contacto</i> .....	67
<b>Tabla 16.</b> <i>Cálculo del sistema de almacenamiento</i> .....	67
<b>Tabla 17.</b> <i>Energía mínima necesaria en cada edificación</i> .....	70
<b>Tabla 18.</b> <i>Parámetros iniciales de la red abierta externa</i> .....	72
<b>Tabla 19.</b> <i>Caudal, diámetro y velocidad en los tramos de la red externa</i> .....	73
<b>Tabla 20.</b> <i>Pérdidas locales en red externa</i> .....	74
<b>Tabla 21.</b> <i>Totalización de pérdidas en red externa</i> .....	75
<b>Tabla 22.</b> <i>Altura piezométrica y carga dinámica total en la red externa</i> .....	76
<b>Tabla 23.</b> <i>Cálculo del sistema de bombeo</i> .....	77

<b>Tabla 24</b> <i>Registros de población flotante que concurre a las instalaciones</i> .....	98
<b>Tabla 25</b> <i>Caudal y presión de puntos en edificación Cabaña</i> .....	99
<b>Tabla 26</b> <i>Caudal y presión de puntos en edificación Ensueño</i> .....	100
<b>Tabla 27</b> <i>Caudal y presión de puntos en edificación Fantasía</i> .....	101
<b>Tabla 28</b> <i>Caudal y presión de puntos en edificación Hangar</i> .....	103
<b>Tabla 29</b> <i>Caudal y presión de puntos en edificación Ilusión</i> .....	103
<b>Tabla 30</b> <i>Caudal y presión de puntos en edificación Lavandería</i> .....	104
<b>Tabla 31</b> <i>Caudal y presión de puntos en edificación Nupciales</i> .....	105
<b>Tabla 32</b> <i>Caudal y presión de puntos en edificación SPA</i> .....	105
<b>Tabla 33</b> <i>Listado de aparatos sanitarios en edificación Cabaña</i> .....	106
<b>Tabla 34</b> <i>Listado de aparatos sanitarios en edificación Ensueño</i> .....	107
<b>Tabla 35</b> <i>Listado de aparatos sanitarios en edificación Fantasía</i> .....	108
<b>Tabla 36</b> <i>Listado de aparatos sanitarios en edificación Hangar</i> .....	110
<b>Tabla 37</b> <i>Listado de aparatos sanitarios edificación Ilusión</i> .....	111
<b>Tabla 38</b> <i>Listado de aparatos sanitarios edificación Lavandería</i> .....	112
<b>Tabla 39</b> <i>Listado de aparatos sanitarios edificación Nupciales</i> .....	113
<b>Tabla 40</b> <i>Listado de aparatos sanitarios edificación SPA</i> .....	114
<b>Tabla 41</b> <i>Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Cabaña</i> ..	115
<b>Tabla 42</b> <i>Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Ensueño</i> ..	116
<b>Tabla 43</b> <i>Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Fantasía</i>	118
<b>Tabla 44</b> <i>Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Hangar</i> ..	120
<b>Tabla 45</b> <i>Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Ilusión</i> ...	121
<b>Tabla 46</b> <i>Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Lavandería</i> .....	122

<b>Tabla 47</b> <i>Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Nupciales</i>	123
<b>Tabla 48</b> <i>Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación SPA</i>	124
<b>Tabla 49</b> <i>Tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación Cabaña</i>	126
<b>Tabla 50</b> <i>Opción 1 tramo de red hasta el aparato más desfavorable edificación Ensueño</i>	127
<b>Tabla 51</b> <i>Opción 2 tramo de red hasta el aparato más desfavorable edificación Ensueño</i>	129
<b>Tabla 52</b> <i>Opción 3 tramo de red hasta el aparato más desfavorable edificación Ensueño</i>	130
<b>Tabla 53</b> <i>Tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación Fantasía</i>	130
<b>Tabla 54</b> <i>Tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación Hangar</i>	131
<b>Tabla 55</b> <i>Opción 1 tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación Ilusión</i>	133
<b>Tabla 56</b> <i>Opción 2 tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación Ilusión</i>	134
<b>Tabla 57</b> <i>Tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación Lavandería</i>	135
<b>Tabla 58</b> <i>Tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación Nupciales</i>	135
<b>Tabla 59</b> <i>Opción 1 tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación SPA</i>	136
<b>Tabla 60</b> <i>Opción 2 tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación SPA</i>	137
<b>Tabla 61</b> <i>Pérdidas por fricción y accesorios en edificación Cabaña</i>	138
<b>Tabla 62</b> <i>Opción 1 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación Ensueño</i>	140
<b>Tabla 63</b> <i>Opción 2 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación Ensueño</i>	142
<b>Tabla 64</b> <i>Opción 3 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación Ensueño</i>	143
<b>Tabla 65</b> <i>Pérdidas por fricción y accesorios en edificación Fantasía</i>	144
<b>Tabla 66</b> <i>Pérdidas por fricción y accesorios en edificación Hangar</i>	145
<b>Tabla 67</b> <i>Opción 1 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación Ilusión</i>	146
<b>Tabla 68</b> <i>Opción 2 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación Ilusión</i>	147
<b>Tabla 69</b> <i>Pérdidas por fricción y accesorios en edificación Lavandería</i>	148

**Tabla 70** *Pérdidas por fricción y accesorios en edificación Nupciales* ..... 148

**Tabla 71** *Opción 1 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación SPA* ..... 149

**Tabla 72** *Opción 2 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación SPA* ..... 150

**Lista de Apéndices**

<b>Apéndice A.</b> <i>Registros fotográficos</i> .....	87
<b>Apéndice B.</b> <i>Planos de planta de tratamiento</i> .....	
	“Véanse los archivos en medio digital externo”
<b>Apéndice C.</b> <i>Planos de edificaciones internas</i> .....	
	“Véanse los archivos en medio digital externo”
<b>Apéndice D.</b> <i>Planos de red externa</i> .....	
	“Véanse los archivos en medio digital externo”
<b>Apéndice E.</b> <i>Fotografías y renderizados</i> .....	89
<b>Apéndice F.</b> <i>Tablas anexas referentes al procedimiento</i> .....	98

### **Resumen**

El objetivo buscado con la elaboración de este proyecto es facilitar mediante la metodología de desarrollo profesional aplicado, los diseños de una planta de tratamiento de agua con su respectiva red de distribución al complejo denominado Villa Campestre Bosques de Florencia, que es una organización dedicada a la elaboración de eventos, reuniones y espectáculos en la ciudad de Tunja (Boyacá), con el ánimo de contribuir en un aumento de la capacidad organizativa y productiva de la empresa y apoyar con el respectivo cuidado del ambiente, aprovechando debidamente el recurso hídrico y cumpliendo con las políticas públicas; para ello, se perfilaron los componentes y el estado actual del sistema existente, estableciendo los criterios base de diseño para posteriormente delinear el proceso de tratamiento adecuado y finalmente diseñar su debida red de distribución para asegurar el abastecimiento a cada una de las edificaciones de la organización.

*Palabras clave:* potabilización, distribución, bombeo, agua

**Abstract**

The objective sought with the development of this project is to facilitate through the methodology of applied professional development, the designs of a water treatment plant with its respective distribution network to the complex called Villa Campestre Bosques de Florencia, which is an organization dedicated to the development of events, meetings and shows in the city of Tunja (Boyacá), with the aim of contributing to an increase in the organizational and productive capacity of the company and support with the respective care of the environment, properly using the water resource and complying with public policies; To this end, the components and the current state of the existing system were outlined, establishing the basic design criteria to subsequently outline the appropriate treatment process and finally design its proper distribution network to ensure the supply to each of the buildings of the organization.

*Key words:* potabilization, distribution, pumping, water

### Glosario

*Accesorios.* Elementos constitutivos de un sistema de tuberías, diferentes de las tuberías en sí, tales como uniones, codos, tees, etc. [1].

*Agua cruda.* Agua superficial o subterránea en estado natural; es decir, que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento [1].

*Agua potable.* Agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos es apta y aceptable para el consumo humano y cumple con las normas de calidad de agua [1].

*Almacenamiento.* Dado que el caudal de captación no es siempre constante y que el caudal demandado tampoco, es necesario almacenar en un tanque durante los períodos en los que la demanda es menor que el suministro y utilizarla en los períodos en que se demanda gran cantidad de líquido [2].

*Altura dinámica total.* Energía suministrada por una bomba a un flujo en tuberías, expresada en términos de cabeza. Se obtiene a partir de la suma de la altura estática en la succión, de las pérdidas de energía por fricción, pérdidas menores en la succión y en la impulsión, y de la presión requerida al final de la línea de impulsión [1].

*Altura piezométrica.* Altura a la que se elevaría el agua en un tubo piezométrico colocado en un punto de una conducción [1].

*Calidad de agua.* En la naturaleza no se encuentra por lo general agua con una calidad aceptable para el consumo humano y se hace necesario su tratamiento. Se debe procurar que la calidad física, química y bacteriológica del agua cruda permitan un tratamiento relativamente económico [2].

*Caudal de diseño.* Con el fin de diseñar las estructuras del acueducto, es necesario calcular el caudal apropiado, el cual debe combinar las necesidades de la población de diseño y los costos

de la construcción de un acueducto para un caudal excesivo [2].

*Caudal.* Cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo [1].

*Densidad ( $\rho$ ).* La densidad de un fluido se define como su masa por unidad de volumen [3].

*Densidad relativa ( $S$ ).* Relación existente entre el peso de un fluido y el peso de un volumen igual de agua. Es un parámetro adimensional [3].

*Densidad.* Masa por unidad de volumen de un fluido [1].

*Drenaje.* Estructura destinada a la evacuación de agua [1].

*Duchas.* Consisten en un pulverizador situado más alto que la cabeza que descarga una lluvia fina sobre el que la utiliza [3].

*Fluido.* Toda sustancia capaz de fluir (líquidos y gaseosos) y su principal característica es no tener forma propia, pues adquiere la forma del recipiente que lo contiene [3].

*Fluxómetro.* Elemento que permite disponer de un volumen importante de agua en un corto tiempo con el fin de que el aparato sanitario alimentado con este dispositivo quede disponible para su servicio rápidamente [3].

*Fuente de abastecimiento.* La fuente de abastecimiento de agua puede ser superficial, como en los casos de ríos, lagos, embalses o incluso aguas lluvias, o de aguas subterráneas superficiales o profundas [2].

*Lavamanos.* Como su nombre lo indica es un aparato sanitario destinado para el lavado de la cara y manos [3].

*Lavaplatos.* Como el nombre lo indica es usado exclusivamente para el lavado de platos en instalaciones públicas o privadas. Por lo general se instalan empotrados en un mesón [3].

*Llave de jardín.* En la parte final de un tramo de tubería de la red de agua potable se coloca un grifo que permite su conexión a una manguera o tubería flexible [3].

*Manómetro.* Aparato que se utiliza para medir la presión atmosférica [1].

*Masa.* Es aquella propiedad del cuerpo de un fluido que representa una medida de la inercia o de la resistencia del fluido ante un cambio en su movimiento. También es una medida de la cantidad de fluido [4].

*Orinal.* Aparato sanitario destinado exclusivamente a servicios higiénicos masculinos públicos o privados proveyendo el agua necesaria para las evacuaciones y limpieza de estos [3].

*Pérdidas menores.* Pérdidas de energía locales [1].

*Pérdidas por fricción.* Pérdida de energía causada por los esfuerzos cortantes generados por la interacción entre el flujo de agua y las paredes de un conducto [1].

*Peso específico ( $\gamma$ ).* Se define como su peso por unidad de volumen y cambia con el lugar por efectos de la aceleración de la gravedad [3].

*Peso.* Es la cantidad que pesa el cuerpo de un fluido, es decir, la fuerza con la que el fluido es atraído hacia la tierra por efecto de la gravedad [4].

*Presión ( $P$ ).* Es una fuerza por unidad de área [3].

*Presión.* Se define como la cantidad escalar que se obtiene al dividir la magnitud de una fuerza ejercida en forma perpendicular sobre alguna superficie entre el área de esta [4].

*Tratamiento del agua.* En la actualidad ningún agua en su estado natural es apta para el consumo humano; además, siempre se requerirá un tratamiento mínimo de cloración con el fin de prevenir la contaminación con organismos patógenos durante la conducción del agua [2].

*Viscosidad absoluta ( $\mu$ ).* Es una propiedad del fluido y expresa la resistencia al corte ofrecida por el fluido cuando se mueve [3].

*Viscosidad cinemática ( $\nu$ ).* Es la viscosidad absoluta dividida entre la densidad, con el objeto de obtener unidades de longitud al cuadrado por unidad de tiempo [3].

### **Introducción**

El complejo denominado Villa Campestre Bosques de Florencia, se encuentra ubicado en el área rural a cinco kilómetros de la ciudad de Tunja vía a Villa de Leyva en el departamento de Boyacá; su actividad económica está orientada principalmente a la organización, manejo y atención de eventos sociales, culturales y al hospedaje de los participantes y/o invitados a las respectivas integraciones sociales.

El suministro y la calidad del agua es de particular interés para el debido funcionamiento y nivel de atención brindado por la organización hacia el público que frecuentemente asiste a los eventos, sin embargo, las instalaciones no cuentan con un sistema de abastecimiento para agua potable, característica que comparte con toda la vereda debido a que el acueducto municipal no tiene cobertura en el sector y de igual forma no existe un acueducto veredal, y dicha necesidad es subsanada por medio de la obtención del recurso hídrico de un pozo de agua subterránea que es bombeado a un tanque de almacenamiento, en donde se le da únicamente un tratamiento con pastillas de hipoclorito de calcio  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  para posteriormente ser distribuido dentro del complejo y en donde el sistema de redes hidráulicas se encuentra en permanente conflicto, debido a que constantemente se pierde la presión o escasea el agua en determinados puntos de la red, aun sin estar el tanque de almacenamiento vacío.

El complejo fue construido a finales de los años 90 e inicialmente solo contaba con un salón con capacidad aproximada de 100 personas, posteriormente y debido al cambio de propietarios en los años 2000, tuvo una expansión hasta obtener un total de 5 salones con capacidades de acoger a 100, 150, 250, 300 y 500 personas respectivamente; del mismo modo, la ampliación contempló la construcción de unas cabañas para hospedaje con una capacidad habitacional total aproximada de 150 personas; en dicho proceso no se planificó el diseño e implementación de un sistema para el tratamiento de agua para el consumo, ni la obtención de los permisos ambientales necesarios para

su aprovechamiento y las instalaciones hidráulicas fueron adaptadas a las ya existentes sin realizar los cálculos necesarios para su correcto funcionamiento.

Se sabe que uno de sus administradores en el año 2013, optó por realizar una prueba de calidad de agua encomendada a un laboratorio no acreditado, en donde los resultados del análisis fisicoquímico y bacteriológico no cumplieron con los criterios de calidad para el consumo humano y doméstico expresados en el Decreto 1076 de 2015 [5], que establece el sistema para la protección y control de la calidad de agua para el consumo humano en sus artículos transitorios 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 y la Resolución 2115 de 2007 [6] por lo que consecuentemente la calificación formula la necesidad de un procedimiento que controle dichos parámetros y pueda ser apta para su respectivo uso por la empresa en su actividad comercial.

Para atender esta situación, se pretende diseñar una planta de tratamiento de agua potable, obteniendo los parámetros de tratabilidad a partir de la fuente hídrica subterránea y calcular la respectiva red hidráulica, para la distribución del agua potabilizada con un sistema de bombeo hidroneumático en las instalaciones, siguiendo los lineamientos expuestos en la Norma Técnica Colombiana NTC 1500 [7] y en la resolución 0330 de 2017 [8] (RAS 2000) [9] para su respectivo uso y consumo.

## **1. Diseño de un sistema de potabilización y distribución de agua mediante bombeo para el complejo Bosques de Florencia ubicado en la zona rural de la ciudad de Tunja (Boyacá)**

### **1.1 Problema**

El complejo destinado para eventos sociales y hospedaje se ve afectado para ejercer su actividad comercial de acuerdo con el panorama expresado previamente e igualmente en una escala más amplia las personas que frecuentemente asisten a sus eventos; cabe destacar que la empresa al estar funcionando sin atender las deficiencias en abastecimiento y calidad mínima de agua para consumo y aprovechamiento dentro de su actividad, podría incurrir en gastos futuros debido a que las sanciones por las Corporaciones Autónomas Regionales causarían una amonestación, suspensión de la actividad mercantil y multas, debido a que por el desconocimiento de la ley no se la exime de su cumplimiento.

La calidad de agua para el consumo es un factor apremiante para el complejo de eventos sociales, por lo que, si no se brinda un recurso apto con los mínimos requerimientos, se convierte en una necesidad primaria por afrontar, ya que sin éste las enfermedades relacionadas con el consumo de agua de baja calidad, entre las que se encuentran la diarrea y el cólera, tienden a contribuir con las tasas de morbilidad en la población generando un impacto negativo en la salud pública.

La red existente para el abastecimiento de agua afronta un nivel de improvisación muy alto, causado por los diámetros en tuberías que no permiten cumplir con las presiones mínimas requeridas para el funcionamiento, redes ineficientes que dificultan el servicio al público originado por pérdidas de carga, la ausencia de un sistema de bombeo que contrarreste las caídas de presión y accesorios obsoletos e inadecuados para uso en espacios destinados a brindar atención al cliente.

## 1.2 Justificación

La Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas declaró el agua de consumo humano limpia y segura y el saneamiento como un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y todos los demás derechos humanos [10]. Por lo tanto, el agua es un recurso vital para tener una buena calidad de vida y desarrollo económico en cualquier región, ya que no en todos los lugares se obtiene una gran cantidad y calidad del agua; igualmente, la Autoridad Ambiental CAR y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos IAvH señala que la dinámica demográfica ha tenido repercusiones en el uso y la tenencia de la tierra que han desencadenado procesos de pérdida de suelo y fertilidad por causa de los diferentes procesos erosivos, afectación de la biodiversidad, disminución y secamiento de las corrientes superficiales de agua [11], por ello la importancia de tener sistemas eficientes en cuanto a la potabilización y distribución del preciado recurso hídrico.

En el complejo de Bosques de Florencia el agua que es consumida no reúne los requisitos mínimos para el consumo humano, el nivel general del agua no es potable y bacteriológicamente no es aceptable como bien lo demuestran las muestras previamente tomadas, analizadas en un laboratorio acreditado y publicadas en este documento en donde se especifica que el agua no cumple con las exigencias mínimas tanto fisicoquímicas como microbiológicas; debido a esto, el presente proyecto pretende proponer un sistema de potabilización de agua que se ajuste a los requerimientos del agua potable que se obtiene para el complejo, la cual es agua que se capta del subsuelo y tiene sus características físico químicas particulares.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura hacia el año 2020, ya existían 41 países afectados con escases de agua, siendo una de las principales razones para ello la demanda incontrolada de los recursos generada por el constante crecimiento de la población y la interacción dinámica entre la expansión industrial, agrícola y

ganadera, igualmente, aunque no en la misma magnitud, el desarrollo geométrico de la población en tecnología, economía y la progresión del cambio climático, han contribuido con afianzar los impactos críticos en los recursos hídricos y en especial dado por el vertimiento directo de aguas de tipo residual sin un tratamiento previo, alterando las condiciones físicas, químicas y bacteriológicas en cuerpos de aguas receptoras [12].

Las pérdidas en las redes de distribución de agua del complejo suponen un gasto ambiental que no debe permitirse, ya que el agua es un bien y una necesidad. De igual forma, es de vital importancia para el complejo de Bosques de Florencia, tener una red óptima de distribución de agua que garantice el recurso en cada uno de sus recintos en cualquier momento del día. Por lo anteriormente mencionado, el principal fin de esta propuesta es mejorar la calidad y la distribución del recurso hídrico en el complejo de Bosques de Florencia, para así seguir contribuyendo a una mejor calidad de vida y desarrollo económico de la región. También, se puede determinar y obtener un informe del estado físico y operativo en el que se encuentran ambos sistemas para controlar las fallas y las deficiencias que se presentan en la actualidad.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

➤ Diseñar un sistema de potabilización y distribución de agua mediante bombeo para el complejo Bosques de Florencia ubicado en el área rural de la ciudad de Tunja (Boyacá).

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

➤ Diagnosticar problemas relacionados con la calidad del agua cruda y determinar parámetros deficientes en el sistema de abastecimiento y sus respectivos componentes.

- Diseñar una planta de tratamiento de agua para que cumpla con los parámetros mínimos requeridos para ser apta para el consumo humano.
- Proponer un sistema para el mejoramiento de las redes hidráulicas del complejo incorporando un sistema de bombeo presurizado de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC1500.

## **2. Marco referencial**

En éste se hace un bosquejo con enfoque universal, en donde se expone principalmente el fenómeno existente, dando un vistazo del estado actual del sistema de agua potable y de esta forma ir visualizando los posibles estudios básicos para presentar la propuesta de mejora del respectivo sistema de potabilización y distribución de agua potable aplicado a un diseño dinámico, flexible y adaptable a múltiples parámetros en función del contexto ya implementado en la empresa.

### **2.1 Marco contextual**

#### **2.1.1 Localización geográfica**

Tunja es un municipio colombiano, capital del departamento de Boyacá, situado sobre la cordillera oriental de los Andes a 115 km al noreste de Bogotá. Es la ciudad capital más alta del país. A cinco (5) kilómetros y dirigiéndose hacia el municipio de Villa de Leyva se encuentra ubicado el complejo Villa Campestre Bosques de Florencia con un área aproximada de 26,500 m<sup>2</sup> a una altitud de 3000 metros sobre el nivel del mar y una temperatura promedio de 12°C [13].

### **2.1.2 Clima**

Según la clasificación de Köppen-Geiger [14], posee un clima de tipo templado y frío de alta montaña. Con precipitaciones muy significativas. Incluso en el mes más seco hay mucha lluvia, el clima está influenciado solamente por la altitud, precipitaciones y las corrientes oceánicas que causan leves variaciones de temperatura, las más significativas entre el día y la noche. La temperatura promedio anual es de 11.8 grados centígrados. Cuenta con dos periodos de baja precipitación (diciembre a marzo y julio a septiembre) y dos periodos lluviosos (abril a junio y octubre a noviembre), que varían su intensidad según la influencia de los fenómenos de la Corriente de Humboldt que se presentan cada 2 o 3 años en los países del norte de Sudamérica. La precipitación es de 2026 mm al año [14].

### **2.1.3 Hidrografía**

El principal recurso hídrico de la ciudad es la Represa de Teatinos, alimentada por el río Teatinos que abastece en su totalidad el área urbana, el cual se apoya en un inmenso acuífero subterráneo que se ubica bajo toda el área rural y urbana. Igualmente, cuenta con tres ríos: Jordán, La Vega y La Cascada y numerosas quebradas que atraviesan su territorio [15].

### **2.1.4 Topografía**

La Ciudad de Tunja se encuentra localizada en el Valle del Alto Chicamocha en la región del Altiplano Cundiboyacense, sobre la Cordillera Oriental de los Andes en el centro del país.

Existen tres zonas orográficas dentro de la zona urbana:

- La planicie a 2.650 metros sobre el nivel del mar
- La meseta hacia el centro y sur de la ciudad a 2.770 msnm, ubicado en el Centro Histórico
- Las Colinas donde alcanza los 2.900 metros en los barrios de la zona occidental.

En la zona rural, la altura sobre el nivel del mar oscila entre 2.400 msnm, en el extremo suroriental hasta los 3.250 msnm. La altura promedio es de 2.720 msnm lo que la hace la capital más alta de Colombia y una de las quince ciudades más altas del mundo [15].

### ***2.1.5 Bosques de Florencia***

El complejo denominado Bosques de Florencia, se encuentra ubicado en el área rural de la ciudad de Tunja, en la vereda de Florencia a cinco kilómetros de la ciudad vía hacia Villa de Leyva en el departamento de Boyacá; su actividad económica está orientada principalmente a la organización, manejo y atención de eventos sociales, culturales y al hospedaje de los participantes y/o invitados a las respectivas integraciones o espectáculos.

## **2.2 Marco Teórico**

### ***2.2.1 Calidad del agua***

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud en [16] el agua potable es la que no ocasiona riesgo alguno significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las posibles sensibilidades que consiguen presentar las personas en las distintas etapas de su vida.

El agua posee unas características variables que la hacen diferente de acuerdo con el sitio y el proceso o tratamiento de donde provenga, estas características se pueden medir y clasificar de acuerdo con características físicas, químicas y biológicas del agua. Éstas últimas son las que determinan la calidad y hacen que el líquido sea apropiado para un uso determinado [17].

En las Guías para la calidad del agua potable (2011) en [16] se muestran los principales parámetros que de acuerdo con sus valores determinan si el agua es de buena calidad y por lo tanto óptima para el consumo humano.

En la Tabla 1 se pueden apreciar los principales parámetros físicos, químicos y biológicos para determinar la calidad del agua.

**Tabla 1.** *Indicadores para determinar la calidad del agua*

<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>
<b>Físicos</b>	Sólidos o residuos, turbiedad, color, olor y sabor, y temperatura.
<b>Químicos</b>	Aceites y grasas, conductividad eléctrica, alcalinidad, cloruros, dureza, pH, cloruros, sodio, sulfatos.
<b>Biológicos</b>	Algas, bacterias (coliformes termo-tolerantes y coliformes totales), recuento heterotrófico, protozoos, virus y helmintos patógenos.

*Nota:* Tomado de la Organización Mundial de la Salud, 2011 [16].

### **2.2.2 Flujo en canal abierto**

De acuerdo con Mott en [4] un canal abierto es un sistema de flujo en el que la superficie superior del fluido está expuesta a la atmósfera, su análisis requiere de técnicas especiales diferentes a las utilizadas para analizar el flujo en tuberías y tubos cerrados. La forma de la sección transversal del canal abierto resulta crítica para su capacidad de entregar una rapidez del flujo volumétrico particular del fluido caracterizando la forma del canal por medio del uso de términos como el radio hidráulico ( $R$ ), el cual depende del área de la sección transversal neta de la corriente de flujo ( $A$ ), y el perímetro mojado ( $P_m$ ).

**2.2.2.1 Radio hidráulico en el flujo en canal abierto.** Según Mott en [4] la dimensión característica de los canales abiertos es el radio hidráulico y está definida como la relación entre el área de la sección transversal neta de una corriente de flujo sobre el perímetro mojado de la sección como se aprecia en la ecuación (1):

$$R = \frac{A}{Pm} = \frac{\text{Área}}{\text{Perímetro mojado}} \quad (1)$$

En donde la unidad de R es el metro y su cálculo con respecto al área de la sección transversal neta debe ser evidente a partir de la geometría de la sección.

**2.2.2.2 Número de Reynolds para canales abiertos.** De acuerdo con Mott en [4] recopila la evidencia experimental que demuestra que en canales abiertos se produce un flujo laminar cuando el número de Reynolds ( $N_R$ ) es menor a 500, en transición dentro del rango de 500 a 2000 y por lo general el flujo turbulento cuando es mayor a 2000. La ecuación (2) lo describe como:

$$N_R = VR/\nu \quad (2)$$

En donde  $V$ : es la velocidad del flujo promedio

$R$ : el radio hidráulico

$\nu$ : la viscosidad cinemática del fluido

**2.2.2.3 Número de Froude.** Como lo indica Mott en [4] además de los efectos de la viscosidad contra la inercia, también es importante la relación de las fuerzas inerciales sobre las fuerzas de gravedad, que son dadas por la relación del número de Froude ( $N_F$ ) definida en la ecuación (3) como:

$$N_F = \frac{V}{\sqrt{g\gamma_h}} = \frac{V}{\sqrt{g A/T}} \quad (3)$$

En donde  $\gamma_h$ : es la llamada profundidad hidráulica y T: es la anchura de la superficie libre del fluido en la parte superior del canal, siendo posible encontrar los siguientes tipos de flujo:

- Subcrítico laminar:  $N_R < 500$  y  $N_F < 1.0$
- Subcrítico turbulento:  $N_R > 2000$  y  $N_F < 1.0$
- Supercrítico turbulento:  $N_R > 2000$  y  $N_F > 1.0$
- Supercrítico laminar:  $N_R < 500$  y  $N_F > 1.0$

**2.2.2.4 Ecuación de Manning.** Una forma de la ecuación resultante netamente empírica que es usada con frecuencia fue desarrollada por Robert Manning y presentada por primera vez en el año 1889, siendo posible deducir una expresión para la magnitud de velocidad promedio del fluido con flujo uniforme para unidades del Sistema Internacional en la ecuación (4) así:

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (4)$$

En donde las unidades empleadas lógicamente deben ser consistentes siendo la magnitud de la velocidad promedio del fluido (V) en (m/s) cuando el radio hidráulico (R) esté en metros, la pendiente (S) del canal siendo adimensional y el término final (n) que representa el factor de resistencia al que en ocasiones se le denomina la n de Manning [4].

Igualmente, como lo indica Mott en [4] es posible calcular la rapidez del flujo volumétrico en un canal a partir de la ecuación de continuidad igual a la utilizada en el flujo en tuberías  $Q=AV$  y obteniendo la ecuación (5) que relaciona directamente la descarga con los parámetros físicos del canal:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (5)$$

Las unidades de la rapidez del flujo volumétrico Q están en (m<sup>3</sup>/s) cuando el área A se expresa en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) y el radio hidráulico R en (m).

### 2.2.3 Población y periodo de diseño

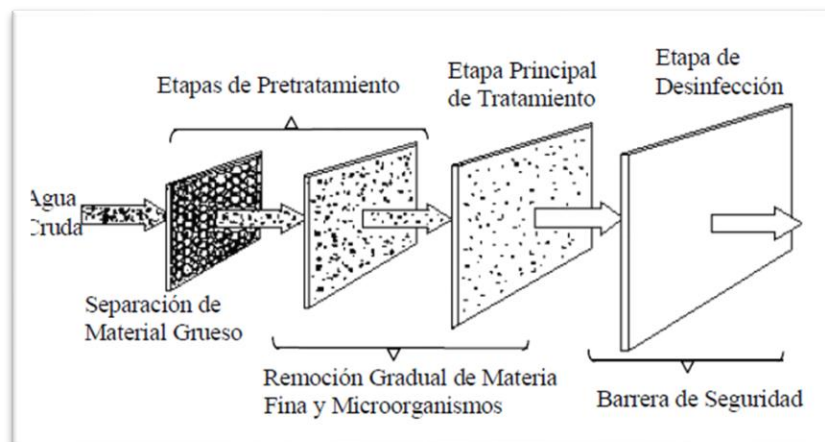
De acuerdo con Agüero en [18] las tareas relacionadas con el agua potable no se diseñan para compensar sólo una necesidad del momento, sino para prevenir el crecimiento de la población en un periodo de tiempo moderado que varía entre 10 y 40 años; haciendo necesaria la estimación de la posible población futura al final de dicho periodo.

Igualmente, el autor en [18] indica que en la determinación del tiempo para el cual se piensa utilitario el sistema, interceden una serie de variables que deben ser valoradas para lograr un proyecto económicamente viable. Por lo tanto, el periodo de diseño puede delimitarse como el tiempo en el cual el sistema será 100% eficiente, ya sea por capacidad en el manejo del gasto deseado o por la existencia física de las instalaciones.

### 2.2.4 Filtración en múltiples etapas (FIME)

La filtración en múltiples etapas es una combinación de unidades de pretratamiento con filtración en grava y unidades con filtración lenta en arena con el fin de obtener un efluente de calidad sin necesidad de la utilización de reactivos químicos durante el proceso, una ilustración de las etapas de dicho proceso puede ser apreciado en la Figura 1 [19].

**Figura 1.** Representación de Filtración en Múltiples Etapas [19].



**2.2.4.1 Filtración Gruesa Dinámica (FGDi).** Son tanques que contienen una capa delgada de grava fina de entre 6 y 13 mm en la superficie, sobre un lecho de grava más grueso de entre 13 y 25 mm y un sistema de drenaje en el fondo. Es comúnmente utilizado para reducir los excesos en los picos de turbiedad y proteger la misma planta de tratamiento de altas cargas de sólidos transportados por la fuente [19].

**2.2.4.2 Filtración Gruesa (FG).** Puede ser de flujo horizontal o vertical y consiste en un compartimiento principal donde se ubica un lecho filtrante de grava; el tamaño de los granos de grava disminuye con la dirección del flujo. Para el caso de un filtro con flujo vertical ascendente se tiene un sistema de tuberías ubicado en el fondo de la estructura que permite distribuir el agua en forma uniforme dentro del filtro [19].

**2.2.4.3 Filtración Lenta en Arena (FLA).** Es la principal etapa de la filtración FIME, siendo el resultado de un conjunto de mecanismos de la naturaleza biológica y física que interactúan de manera compleja para mejorar la calidad microbiológica del agua. Está compuesta por un tanque con un lecho de arena fina colocada sobre una capa de grava que constituye el soporte de la arena y donde por medio de un sistema de tuberías perforadas se recolecta el agua filtrada. El flujo es descendente y emplea una velocidad de filtración muy baja [19].

## **2.2.5 *Desinfección por medio de luz ultravioleta***

**2.2.5.1 ¿Qué es la luz ultravioleta?** De acuerdo con Pérez de Caso el término ultravioleta es aplicado a la radiación electromagnética emitida por la región del espectro que ocupa la posición intermedia entre la luz visible y los rayos X. El espectro ultravioleta está dividido en tres áreas

designadas: UV-A, UV-B y UV-C. En donde el autor expresa que en el espectro “C” de longitud de onda entre 200 y 300 nanómetros, se encuentra la mayor acción germicida siendo la onda de 254 nanómetros la correspondiente al mayor poder [20].

**2.2.5.2 Eliminación de bacterias y virus patógenos.** Igualmente, el autor en [20] indica que cuando la luz hace contacto con los microorganismos que contiene el agua, penetra su membrana exterior y destruye el DNA (ácido nucleico), material genético esencial para todo organismo viviente. Por lo tanto, al realizar el procedimiento descrito anteriormente, se impide la reproducción del microorganismo, por lo que al no poder reproducirse se le considera muerto.

**2.2.5.3 Pretratamiento del agua antes del ingreso al sistema UV.** Para que el sistema opere eficientemente es recomendado que el agua esté libre de partículas en suspensión o disolución, todo esto si la calidad de agua cruda no se encuentra en condiciones aptas para el consumo o sin aplicar para ello un pretratamiento al agua no se cumpla con los siguientes niveles [21]:

- Menos de 5 NTU de turbidez
- Menos de 0.3 partes por millón (ppm) de hierro
- Menos de 0.05 ppm de ácido sulfhídrico
- Menos de 10 ppm de sólidos suspendidos
- Menos de 0.05 ppm de manganeso
- Dureza por debajo de 120 ppm
- pH entre 6.5 y 9.5
- El agua no debe tener color alguno

### 2.2.6 Dimensionamiento del tanque superficial

Tomando lo expuesto por López en [2] donde expresa que una vez obtenido el volumen total del tanque es necesario hacer un pre-dimensionamiento considerando ciertas dependencias de tipo económico:

- A mayor profundidad, mayor será el costo de los muros perimetrales y menor será el costo de las placas de fondo y de cubierta.
- A menor profundidad, mayor será el costo de las placas de cubierta y fondo y menor será el costo de los muros perimetrales.

Por lo tanto, como guía de procedimiento el autor indica en la ecuación (6) que se puede emplear la siguiente relación empírica:

$$h_t = \frac{V}{3} + k \quad (6)$$

Donde  $h_t$ : es la profundidad en metros (m) del tanque

V: es la capacidad en cientos de metros cúbicos (m<sup>3</sup>)

k: es la constante en función de la capacidad tomada de la Tabla 2:

**Tabla 2.** Constante K en función de la capacidad en Volumen de un tanque

V (cientos de m3)	k
< 3	2.0
4 - 6	1.8
7 - 9	1.5
10 - 13	1.3
14 - 16	1.0
> 17	0.7

*Nota.* En donde López en [2] deduce de la relación anterior, que la profundidad mínima de un tanque de almacenamiento es de 2m.

### 2.2.7 Diseño de sistemas de agua potable para edificaciones

**2.2.7.1 Características de la red hidráulica.** Según Rodríguez en [3] la red debe ser abierta, tomando en cuenta que en general los aparatos sanitarios no funcionan simultáneamente y, por tanto, no se presentan diferencias significativas en la presión entre dos puntos de la red. También, de acuerdo con la disposición de los aparatos sanitarios y sus condiciones de funcionamiento se proyecta construir una red abierta, que satisfaga en los puntos donde se encuentran éstos el caudal y presión requeridos para que haya comodidad en su uso.

**2.2.7.2 Trazado de la red.** Para realizar el respectivo trazado de redes internas en las edificaciones se debe disponer de dos tipos de vistas (planta e isométrica) correspondientes al diseño arquitectónico y estructural de cada edificación. De acuerdo con Rodríguez en [3] en el trazado en planta se define la ubicación de los aparatos sanitarios procurando definir una red principal, posteriormente se hace un trazado de los ramales secundarios para satisfacer los núcleos o baterías de aparatos sanitarios.

Igualmente, el autor en [3] como recomendación general para el trazado en planta, recomienda tener en cuenta:

- Trazar la red abierta de longitud mínima.
- Efectuar cambios de dirección en un comienzo a 90°.
- Realizar el trazado desde los aparatos más alejados hacia el punto de alimentación.
- Realizar el trazado por comodidad y economía en la construcción, tratando de seguir las divisiones de la edificación.
- Realizar el trazado procurando conseguir el aislamiento hidráulico de la red por baterías de aparatos sanitarios con el propósito de aislar sectores.
- Tener la información con la cual se va a construir la red.

Para el trabajo de la vista isométrica de la red, Rodríguez en [3] indica que la construcción isométrica a 45° de la red se debe efectuar teniendo en cuenta todos los detalles, dimensiones, accesorios y diámetros principalmente, pues con ese trabajo se cuantifica adecuadamente la red de tal manera que se pueden apreciar con más detalle la altura, subidas o bajadas y detalles en general que se presenten en el trazado y tramos de la tubería.

**2.2.7.3 Estimación de caudales circulantes.** De acuerdo con Rodríguez en [3] el caudal de consumo diario hace referencia al consumo en un día por habitante que presenta un tipo de edificación determinado. Igualmente, la unidad de abastecimiento o consumo está definida como el caudal máximo demandado por un lavamanos de tipo privado, por grifo, equivalente a 1 pie cúbico por minuto, es decir, un factor de seguridad de 2.5 con respecto al caudal mínimo requerido por el mismo aparato para su funcionamiento adecuado.

De acuerdo con la norma Icontec 1500 en [7] se hace referencia a los valores con respecto a la edificación y se expresan en litros por habitante en un día; los valores de unidades de consumo son recopilados y presentados en la Tabla 3 en donde, se reúnen los aparatos comúnmente usados y discriminados por su tipo de control y ocupación.

**Tabla 3.** *Unidades de abastecimiento o de consumo*

Aparato sanitario	Ocupación	Tipo de control del suministro	Unidades de consumo
<b>Inodoro</b>	Público	Fluxómetro	10
<b>Inodoro</b>	Público	Tanque de limpieza	5
<b>Orinal</b>	Público	Fluxómetro $\Phi=2.5$ cm	10
<b>Orinal</b>	Público	Fluxómetro $\Phi=2.0$ cm	5
	Público	Tanque de limpieza	3
<b>Orinal</b>	Público	Llave	2
<b>Lavamanos</b>	Público	Llave	4
<b>Ducha</b>	Público	Válvula mezcladora	4
<b>Fregadero de servicio</b>	Público	Llave	3

**Tabla 3 (continuación).** *Unidades de abastecimiento o de consumo*

<b>Aparato sanitario</b>	<b>Ocupación</b>	<b>Tipo de control del suministro</b>	<b>Unidades de consumo</b>
<b>Fregadero de cocina</b>	Hotel restaurante	Llave	4
<b>Inodoro</b>	Privado	Fluxómetro	6
<b>Inodoro</b>	Privado	Tanque de limpieza	3
<b>Lavamanos</b>	Privado	Llave	1
<b>Bidet</b>	Privado	Llave	1
<b>Tina</b>	Privado	Llave	2
<b>Ducha</b>	Privado	Válvula mezcladora	2
<b>Cuarto de baño</b>	Privado	Un fluxómetro por cuarto	8
<b>Cuarto de baño</b>	Privado	Un tanque de limpieza por cuarto	6
<b>Ducha separada</b>	Privado	Válvula mezcladora	2
<b>Fregadero de cocina</b>	Privado	Llave	2
<b>Lavadero</b>	Privado	Llave	3
<b>Lavadora</b>	Privado	Llave	3
<b>Combinación de accesorios</b>	Privado	Llave	3
<b>Lavaplatos</b>	Privado	Llave	2
<b>Llave de jardín</b>	Privado	Llave	3
<b>Calentador</b>	Privado		3
<b>Nevera</b>	Privado		1

*Nota.* Tabla tomada de la norma Icontec NTC1500 en [7].

**2.2.7.4 Pre-dimensionamiento hidráulico de la red.** De acuerdo con Rodríguez en [3] menciona que consiste en establecer los diámetros comerciales posibles de los diferentes tramos de la red a partir de las necesidades de cada uno de los aparatos sanitarios reflejadas en los caudales y el uso de los aparatos sanitarios de acuerdo con su grado de simultaneidad.

Para realizar el pre-dimensionamiento hidráulico de la red el autor en [3] especifica que se debe hacer lo siguiente:

- Establecer los caudales o consumos requeridos por cada aparato sanitario.
- Identificar los tramos de la red desde los puntos terminales hasta la alimentación.

➤ Determinar para cada uno de los tramos de la red el caudal máximo posible con base en el número de aparatos que debe alimentar el tramo y el caudal de cada aparato o el número de unidades de consumo.

➤ Determinar el número de aparatos que alimenta cada tramo.

➤ Establecer para cada tramo el caudal circulante.

➤ Determinar el diámetro de cada tramo.

➤ Establecer los diámetros de tubería lo más pequeños posible con el fin de no disponer de velocidades muy pequeñas.

El método de Hunter modificado como indica [3] está fundamentado en las unidades de abastecimiento, de descarga o de consumo; contiene unas modificaciones del método original recopiladas en la norma de Icontec 1500 [7] y que éste sugiere operar con gastos normales o promedios para los diferentes aparatos sanitarios, sin llegar a los extremos de gastos mínimos o máximos dados en el método de Hunter original e introduciendo un valor diferente para la unidad de consumo.

Rodríguez en [3] presenta las siguientes ecuaciones con el fin de facilitar el cálculo del caudal máximo probable en función de las unidades de consumo y en las cuales se especifica su rango de uso así:

Para unidades de consumo entre  $3 < UC < 240$

➤  $Q = 0.1163(UC)^{0.6875}$  para aparatos comunes.

➤  $Q = 0.7243(UC)^{0.384}$  para aparatos con fluxómetro.

Para unidades de consumo entre  $260 < UC < 1000$

➤  $Q = 0.074(UC)^{0.7504}$  para aparatos comunes.

➤  $Q = 0.3356(UC)^{0.5281}$  para aparatos con fluxómetro.

**2.2.7.5 Ecuación de energía.** Según Rodríguez en [3] la energía total de un fluido incompresible en movimiento se puede representar por la suma de las energías potencial, cinética y de presión de acuerdo con la ecuación (7):

$$E_T = E_{Potencial} + E_{Cinética} + E_{Presión} \quad (7)$$

Además, el autor recuerda que de acuerdo con la ecuación de Bernoulli se establece que la energía total en un punto es constante para un flujo permanente resultando en la ecuación (8):

$$E_T = z + \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} = constante \quad (8)$$

Donde  $z$  es la altura de la partícula medida con respecto a un nivel de referencia,  $V^2/2g$  se denomina su altura de velocidad y  $P/\gamma$  es el valor de la presión en el eje del tubo. De este planteamiento para un tubo de corriente de fluido real incompresible que se mueve entre dos puntos de un sistema y teniendo en cuenta que existen pérdidas de energía se obtienen las ecuaciones (9) y (10):

$$E_{T1} = E_{T2} + \sum \text{pérdidas} \quad (9)$$

$$z_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = z_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + \sum \text{pérdidas}_{1-2} \quad (10)$$

En donde:

$E_{T1}$ : energía total disponible en el punto inicial.

$E_{T2}$ : energía total disponible en el punto final.

$\sum \text{pérdidas}_{1-2}$ : sumatoria de las pérdidas de energía producidas por fricción y localizadas entre los puntos inicial y final del planteamiento de la ecuación de energía.

$\alpha$ : coeficiente de corrección de la energía cinética, al considerar distribuciones uniformes de velocidad en un flujo turbulento,  $\alpha = 1$ .

### 2.2.7.6 Pérdidas de energía en un sistema a presión de un fluido incompresible.

Rodríguez indica en [3] que cuando se desarrolla un flujo a presión, con presión diferente a la atmosférica de un fluido incompresible a través de un sistema, la resistencia al flujo es expresada en función de las pérdidas de energía, por lo tanto, en una tubería a presión la pérdida total entre dos puntos  $\Delta H$  está definida en la ecuación (11) como:

$$\Delta H = \sum h_f + \sum h_l \quad (11)$$

En donde  $\sum h_f$  es la sumatoria de las pérdidas por fricción en el tramo considerado de la tubería y  $\sum h_l$  es la sumatoria de pérdidas locales o causadas por accesorios en el tramo.

**2.2.7.6.1 Cálculo de pérdidas por fricción.** Existen gran cantidad de fórmulas empíricas en la literatura técnica para la estimación de las pérdidas por fricción en tuberías que transportan agua, entre las cuales se destacan las siguientes de uso frecuente en la actualidad [22]:

- Fórmula de Scobey: utilizada con frecuencia en los Estados Unidos y aplicada especialmente a tuberías de concreto.
- Fórmula de Manning: de uso difundido en la hidráulica de canales y como la anterior, su campo de aplicación corresponde en forma aproximada a la condición de flujo hidráulicamente rugoso.
- Fórmula de Hazen-Williams: es una de las ecuaciones empíricas más utilizadas para evaluar las pérdidas por fricción en tuberías, tal vez por la gran cantidad de información de tipo experimental que se ha reunido desde su publicación en el año de 1902.
- De acuerdo con Rodríguez en [3] la pérdida de energía por fricción es la debida al rozamiento del fluido con las paredes de la tubería o del conducto; esta pérdida se da en la dirección del flujo, puede resultar considerable en tramos largos, pero puede ser prácticamente despreciable

en tramos cortos. El autor ha realizado un ajuste obteniendo la ecuación (12) explícita e incorporándola en la ecuación de Darcy-Weisbach que permite obtener una expresión directa para el cálculo de las pérdidas de energía debida a la fricción y que puede usarse en el caso de una tubería lisa como la de PVC en el rango de número de Reynolds de  $4000 < Re < 10^7$ , con lo cual:

$$h_f = 0.1066 * \frac{V^{1.79} \nu^{0.21}}{D^{1.21} g} * L \quad (12)$$

Donde:

V: velocidad media del flujo en (m/s).

$\nu$ : viscosidad cinemática del fluido según su temperatura ( $m^2/s$ ).

D: diámetro de la tubería (m).

g: aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

**2.2.7.6.2 Pérdidas locales o por accesorios.** De acuerdo con Rodríguez en [3] es la pérdida de energía diferente de la pérdida de fricción y es producida en una pequeña región cercana al sitio donde se presenta cambio en la geometría del conducto o cambio en la dirección del flujo, en general se expresan como un coeficiente multiplicado por la altura de velocidad; las pérdidas locales más comunes son:

- Pérdidas por ampliación de sección.
- Pérdidas por cambio de dirección.
- Pérdidas por reducción de sección.
- Pérdidas por entrada o por salida.
- Pérdidas por válvulas o sistemas de control.
- Pérdidas por bifurcación.
- Pérdidas por dispositivos de control de flujo.

**2.2.7.6.3 Longitud equivalente.** Rodríguez señala en [3] que consiste en expresar las pérdidas locales en función de *una longitud* de tubo equivalente ( $L_e$ ) de igual diámetro para cada uno de los accesorios del sistema buscando que se produzca la misma pérdida entre el accesorio y el tramo de determinada longitud con diámetro semejante. Para ello se parte de la fórmula de Darcy-Weisbach en donde la longitud (L) y el diámetro (D) son constantes para una tubería y el factor de fricción (f) es adimensional, considerando éstas iguales a una constante K que representan las pérdidas propias de cada accesorio, y es adimensional para resultar en la ecuación (13):

$$h_l = f * \frac{L_e}{D} * \frac{v^2}{2g} = K * \frac{v^2}{2g} \quad (13)$$

A continuación, en la Tabla 4 se puede apreciar un resumen de las longitudes equivalentes de los accesorios tipo con diferentes diámetros y en donde para encontrar los diferentes valores de cada accesorio, Rodríguez tomó las siguientes velocidades:

- Velocidad mínima: 0.8m/s
- Velocidad media: 1.4m/s
- Velocidad máxima: 2m/s

A temperatura de 15°C, donde la velocidad cinemática vale de:  $v = 1.141 \times 10^{-6} (m^2/s)$

**Tabla 4.** Longitudes equivalentes de los accesorios tipo

Accesorio	Longitud equivalente (m)						
	Φ=1/2"	Φ =3/4"	Φ =1"	Φ =1 1/2"	Φ =2"	Φ =3"	Φ =4"
<b>Codo 90°</b>	0.6	0.9	1.2	1.8	2.4	3.8	5.1
<b>Tee salida lateral</b>	0.6	0.9	1.2	1.8	2.4	3.8	5.1
<b>Tee salida bilateral</b>	1.2	1.9	2.6	4	5.2	8.4	11.4
<b>Tee paso directo</b>	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.9

**Tabla 4 (continuación).** *Longitudes equivalentes de los accesorios tipo*

Accesorio	Longitud equivalente (m)						
	$\Phi=1/2''$	$\Phi=3/4''$	$\Phi=1''$	$\Phi=1\ 1/2''$	$\Phi=2''$	$\Phi=3''$	$\Phi=4''$
Válvula check	1.6	2.4	3.2	5	6.6	10.5	14.2
Válvula compuerta	0.2	0.2	0.3	0.55	0.7	1	1.4
Válvula cierre rápido	4.8	7.3	9.9	15.4	20.2	32.3	43.8
Reducción de 1"-3/4"		0.2					
Reducción 3/4"-1/2"	0.3						

*Nota.* Tabla resumen de las longitudes equivalentes de accesorios más comúnmente usados, tomado de [3].

### 2.2.8 *Sistemas hidroneumáticos*

De acuerdo con Rodríguez en [3] la potencia de la bomba en caballos de fuerza (H.P.) como se muestra en la ecuación (14) está dada por el producto del caudal de bombeo (lps) y de la altura dinámica total (m) dividido por un factor de 75 producto de la conversión de unidades y la eficiencia de la bomba (n) que normalmente los fabricantes suelen proporcionar.

$$P_{bomba} = \frac{Q * H_{dt}}{75 * n} \quad (14)$$

Igualmente, el autor en [3] explica que el principio de funcionamiento del sistema hidroneumático está basado en la existencia de una membrana dentro de un tanque hidro-acumulador que evita el contacto del agua con el aire y que permite el trabajo automático mediante la sustracción y adición de caudal en concordancia con las solicitudes de la edificación. La función principal del tanque hidro-acumulador es por tanto evitar el continuo arranque de la bomba reduciendo el número de ciclos por unidad de tiempo.

También, el autor en [3] indica que en muchos modelos de tanques hidro acumuladores el volumen útil  $V_t$  representa una fracción de su volumen total  $V$ , dicha fracción denominada  $K$  puede estar entre un 70% y 90%, estableciendo las siguientes expresiones:

- Sin compresión inicial (ecuación (15)): Presión del tanque igual a la atmosférica

$$V = \frac{15 * Q_b * P_1 * P_2}{K * N_c * (P_1 - P_2)} \quad (15)$$

- Con compresión inicial (ecuación (16)): Presión del tanque igual a la presión mínima exigible para la instalación, es decir:  $P_t = P_2$  equivalente a la suma de la altura geométrica desde el equipo hasta el punto de agua más desfavorable, más las pérdidas de energía hasta dicho punto, más la presión de servicio del aparato más desfavorable

$$V = \frac{15 * Q_b * P_1}{K * N_c * (P_1 - P_2)} \quad (16)$$

## 2.3 Marco Legal

En este capítulo se exponen las consideraciones, principios y criterios que reglamentan o sirven de fundamento para acondicionar mínimamente los diseños dentro del marco normativo establecido en Colombia y la respectiva zona de estudio.

### 2.3.1 Decreto 1076 de 2015

Es un Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible donde compila normas expedidas en cabeza del Presidente de la República con el Gobierno Nacional y donde pretende recopilar un solo cuerpo normativo de todos los decretos reglamentarios vigentes expedidos hasta la fecha en materia ambiental y en donde contiene temas regulatorios tales como

la gestión ambiental y las aguas no marítimas entre otras, tomando como facultad los requerimientos mínimos para el uso y consumo de agua cruda en éste proyecto [5].

### **2.3.2 Resolución 2115 de 2007**

En donde se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano. En ésta se establece el sistema para la protección y control de la calidad de agua con el objeto de monitorear, prevenir y controlar los posibles riesgos para la salud humana causados por su consumo [6].

### **2.3.3 Resolución 0330 de 2017 (RAS 2000)**

Esta resolución reglamenta los requisitos técnicos que deben ser cumplidos en el diseño, construcción, funcionamiento, operación, mantenimiento y reparación de las obras relacionadas con acueductos, alcantarillados y aseo; aplicando para sistemas propios del sector de agua y saneamiento básico [8].

### **2.3.4 Norma Técnica Colombiana NTC1500**

Es un código colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias siendo una adopción modificada del código internacional de plomería IPC del año 2009 en donde se describen el suministro de agua, el sistema de desagüe y la instalación sanitaria. Brinda las pautas mínimas para realizar un diseño conforme a la intención y disposiciones de la norma y proporciona un nivel equivalente o superior en calidad, resistencia, efectividad, durabilidad y seguridad.

La norma provee los requisitos mínimos para salvaguardar la vida, la propiedad, la salud y el bienestar público regulando y controlando el diseño, la construcción, la instalación, la calidad

de materiales, ubicación, operación y mantenimiento o uso de equipos y sistemas hidráulicos y sanitarios [7].

### **3. Método**

#### **3.1 Ocupación**

La población con la cual se realizó el respectivo diseño y estudio de resultados, fue todo invitado acogido por la empresa en un evento social estimada en 1500 habitantes por día; no se trabajó con muestra y por lo tanto no se realizó un muestreo. La fuente informante fue la administración del complejo de la Villa Campestre Bosques de Florencia mediante los registros de eventos realizados en ocasiones anteriores. Las técnicas utilizadas fueron trazadas por el análisis del terreno y las instalaciones existentes, el diseño de saneamiento de acuerdo con la RAS2000 [9], la Resolución 330 de 2017 [8] y la NTC 1500 [7].

#### **3.2 Instrumentos de recolección y manejo de datos**

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante el uso de software como HCanales, AutoCAD, CIVIL3D, REVIT y de igual forma se hizo uso de Microsoft EXCEL para tabulaciones y representaciones en cuadros, etc. Fue empleado equipo de geo-referenciamiento como (GPS, Altimetro, acelerómetro y brújula), para el aforo volumétrico de agua se empleó (Balde, Tubería en PVC, Manómetro, Cinta teflón, Llave de tubo, Llave inglesa, Cronómetro, Vernier y regla de mano), dentro del equipo de laboratorio de aguas se utilizó (Termómetro, Turbidímetro, pHmetro, Vasos de precipitado, Pera de laboratorio, Pipeta, Probeta y varilla de agitación) y equipos de oficina tales como (impresora, computador portátil y cámara fotográfica).

### **3.3 Procedimiento**

El procedimiento para cumplir con los objetivos del proyecto fue dividido en tres (3) etapas correspondientes a la determinación de los componentes y evaluación del sistema existente, a los parámetros para la tratabilidad del agua cruda y a los parámetros para el diseño del mejoramiento del sistema de distribución de agua potable respectivamente. Dichas etapas son listadas de la siguiente forma:

#### ***3.3.1 Etapa 1. Determinación de los componentes y evaluación del sistema existente.***

Fue necesario como primera medida realizar dos tipos de diagnóstico, uno referente a el análisis de agua cruda a tratar y el otro con respecto a las mediciones de presión en los distintos puntos y el listado de accesorios que caracterizaron un malfuncionamiento para la red ya existente en el complejo, de acuerdo con los siguientes ítems:

**3.3.1.1 Análisis y caracterización de muestra de agua cruda.** Para ello se eligió cada punto de muestreo de acuerdo con las recomendaciones brindadas por el laboratorio acreditado “Control Microbiológico” ubicado en la ciudad de Tunja. Los puntos de muestreo fueron definidos como la salida de la bomba del pozo profundo y la salida del tanque de recolección inmediatamente después de la bomba del pozo.

Las muestras se transportaron al laboratorio de control de calidad de agua “Control Microbiológico” en la mayor brevedad posible inmediatamente después de la recolección, siendo éstas refrigeradas en neveras de poliestireno expandido a baja temperatura conservadas con refrigerantes en gel, para posteriormente ser encargadas a dicho laboratorio y preservadas para su análisis bajo sus técnicas y métodos.

En la recolección de cada muestra se realizó la respectiva limpieza de la boca de salida tratando de eliminar sustancias acumuladas en el orificio interno de salida del agua y el reborde externo, dejando correr agua libremente para que arrastrara cualquier residuo y que la toma de muestra fuera lo más fidedigna posible y sin alguna contaminación o alteración externa. El envase empleado fue proporcionado directamente por el laboratorio, encontrándose éste previamente demarcado en función de cantidad y esterilizado bajo sus parámetros. Para la recolección y manipulación de las muestras se empleó guantes y se tomaron los datos en campo de pH, temperatura y hora exacta de la toma.

Los ensayos y métodos a los cuales fue sometida la muestra de agua pueden ser apreciados en la Figura 2 y Figura 3 , así como la norma o método analítico empleada para cada característica fisicoquímica y microbiológica evaluada por el laboratorio “Control Microbiológico” y el criterio admisible con las respectivas observaciones a los resultados obtenidos de acuerdo con la normativa vigente.

**3.3.1.2 Población por abastecer.** Se encuentra dada por un número de pobladores dinámicos, debido a que el complejo no siempre se encuentra en funcionamiento constante y la población por abastecer está supeditada al número de invitados de cada evento asistido por la organización. Para ello la administración del complejo concedió acceso a los registros del número de clientes asistentes a los eventos en años anteriores, con el fin de elaborar una tabulación de éstos y consolidarlos por semana en una tabla para su comprensión y utilización en el presente trabajo.

Con la finalidad de satisfacer las solicitudes necesarias para un correcto funcionamiento del sistema hidráulico del complejo, se hizo necesario asumir que las instalaciones de cada edificación funcionan a su máxima capacidad y de acuerdo con el registro de clientes y asistentes a dichas instalaciones presentado en la Figura 4 y Tabla 24 del apéndice F, se optó por asumir un

número de 1500 habitantes conformados por los invitados y asistentes, dentro de los que se incluyen a empleados y directivos o personal administrativo del mismo.

**3.3.1.3 Cotas de puntos de conexión de acometidas (msnm).** La totalidad de los puntos de alimentación de las instalaciones del complejo (Salones de reunión, Disposición de hospedaje e instalaciones propias para el fomento de la actividad) en donde se requería el abastecimiento de cada edificación de agua potable, fueron geo-referenciados mediante el uso de instrumentos (altímetro, GPS y acelerómetro) recopilando los datos en una tabla e ilustrados para su posterior cálculo de pendientes en tramos, velocidades, diámetros y presiones requeridas en las redes.

**3.3.1.4 Caudales y presiones de agua en los puntos.** Para la toma y evaluación de la totalidad de los puntos de consumo existentes en el complejo se emplearon los instrumentos de medición y demás (manómetro, balde, cronómetro, tubería PVC, cinta teflón, vernier y regla de mano) necesarios para obtener los datos respectivos a ser preferentemente tabulados y analizados de acuerdo con la aplicabilidad y requerimientos dictaminados por la norma y posteriormente realizar el debido cálculo y corrección o ajuste a ella.

### **3.3.2 Etapa 2. Tratabilidad del agua cruda.**

A partir de los análisis de agua, del caudal de diseño y por ser un sistema aislado de posible contaminación industrial se determinaron las dimensiones de las estructuras de la planta de tratamiento de agua potable por medio de filtración en múltiples etapas FIME siguiendo las fases resumidas en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Fases de diseño para planta de tratamiento

Fases	Elementos	Descripción
<b>Elementos de diseño</b>	Población (p)	Capacidad del complejo
	Periodo de diseño	25 años
	Dotación neta	$d_{neta}$
	Pérdidas técnicas	%p
	Dotación bruta	$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%p}$
	Caudal medio diario	$Qmd = \frac{p * d_{bruta}}{86400}$
	Caudal máximo diario	$QMD = Qmd * k_1$
<b>Unidad de entrada <sup>a</sup></b>	Caudal máximo horario	$QMH = QMD * k_2$
	Caudal de diseño	$QD = QMD$
	Radio hidráulico	$R = \frac{A}{P} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{d}{4}$
<b>Cálculo de filtro dinámico <sup>b</sup></b>	Diámetro ecuación de Manning	$d = \left( \frac{4^{5/3}}{\pi} * \frac{Q * n}{S^{1/2}} \right)^{3/8}$
	Área total del filtro	$A_t = \frac{Q_{tf}}{V_f}$
	Área de cada unidad	$A_f = \frac{A_t}{N}$
<b>Cálculo de filtro grueso ascendente <sup>b</sup></b>	Caudal de cada unidad	$Q_f = \frac{Q_{tf}}{N}$
	Área superficial del filtro	$A_s = \frac{Q_{tf}}{V_f}$
	Área de cada unidad	$A_f = \frac{A_s}{N}$
<b>Cálculo de filtro lento de arena <sup>b</sup></b>	Caudal de cada unidad	$Q_f = \frac{Q_{tf}}{N}$
	Área superficial del filtro	$A_s = \frac{Q_{tf}}{V_f}$
	Área de cada unidad	$A_f = \frac{A_s}{N}$
<b>Cálculo de tanque de contacto <sup>c</sup></b>	Caudal de cada unidad	$Q_f = \frac{Q_{tf}}{N}$
	Volumen de tanque	$V = QD * t_c$
	Longitud total	$L_{tot} = (b_{can} * N_{can}) + (b_{tab} * N_{tab})$
<b>Cálculo de tanque para almacenamiento <sup>d</sup></b>	Volumen de tanque	$V_{Tanque} = 1/3 * QMD$
	Profundidad del tanque	$h = \frac{V_{tanque}}{300} + K$

*Nota.* Metodología recopilada de la resolución 0330 de 2017 del RAS [8] y de Elementos de diseño para Acueductos y alcantarillados [2].

<sup>a</sup> Donde  $R$  es el radio hidráulico,  $A$  es el área del canal,  $P$  es el perímetro del canal,  $d$  el diámetro del canal,  $Q$  el caudal,  $n$  el coeficiente de rugosidad y  $S$  la pendiente hidráulica.

<sup>b</sup> Donde  $Q_{tf} = QMD$  es el caudal total del filtro; de acuerdo con la resolución 0330 de 2017 del RAS en el párrafo de su artículo 114 en [8], el mínimo número de unidades de filtración debe ser de tres ( $N=3$ ). Igualmente, en la tabla 11 del mismo artículo se muestra el criterio de referencia de la tasa de filtración  $V_f$  para las diferentes etapas.

<sup>c</sup> Donde  $QD$  es el caudal de diseño,  $t_c$  es el tiempo de contacto que De acuerdo con la Resolución 0330 de 2017 en su artículo 121, párrafo 2 en [8], la desinfección por cloración debe emplear tanque de contacto antes de su almacenaje con un tiempo de contacto de mínimo 20 minutos.

<sup>d</sup> De acuerdo con López en [2] la constante en función de la capacidad del tanque de almacenamiento es según la tabla 12.1 igual a  $K=2.0$ .

### ***3.3.3 Etapa 3. Diseño del mejoramiento del sistema de distribución.***

Finalmente, una vez obtenidos los respectivos diseños de la planta de tratamiento y el diagnóstico con los parámetros deficientes en la red de distribución interna y externa del complejo, se procedió a realizar el diseño para mejorar el sistema de distribución de agua potable de acuerdo con los siguientes parámetros:

**3.3.3.1 Levantamiento de planos para trazado de las redes.** Por medio del uso del software de Autodesk Autocad, se digitalizaron las instalaciones del complejo de Villa Campestre Bosques de Florencia detallando la ubicación de los aparatos sanitarios y la representación en planta, corte y vista isométrica con la disposición general de cada edificación contenida para rediseño de las respectivas redes hidráulicas.

**3.3.3.2 Obtención del trazado preliminar para redes internas.** Una vez obtenida la ubicación de cada aparato sanitario, se procuró definir la red principal conservando la ya existente con el objeto de ser lo menos invasivo posible en caso de que se realice el cambio en los ramales; igualmente, para los ramales secundarios se realizó el ruteo por donde ya transitaban las tuberías y corrigiendo en algunos casos aquellos que no conservaban una longitud mínima o entraban en conflicto con la estructura afectando a la misma construcción. De la misma manera, se realizó el trazado preliminar de la red por comodidad, conveniencia y economía tratando de seguir las divisiones de cada edificación, también, se trató de conseguir un aislamiento hidráulico por sectores con el fin de que, en el caso de la presencia de algún fallo en su funcionamiento normal, no sea necesario inhabilitar por completo el sistema, sino que pueda ser aislada la zona de la avería.

**3.3.3.3 Estimación de caudales circulantes en redes internas.** Para satisfacer las características del sistema se utilizó el método de Hunter modificado ya que éste está basado de acuerdo con la norma Icontec 1500, siendo los caudales proporcionados por ella los más comunes que se emplean en el país de acuerdo con el tipo de edificación e instalación.

**3.3.3.4 Obtención del pre-dimensionamiento hidráulico en redes internas.** Se establecieron los diámetros comerciales posibles de cada tramo de la red de acuerdo con las necesidades y uso de cada uno de los aparatos sanitarios. También, para no obtener velocidades muy bajas en la red hidráulica se procuró establecer cada diámetro lo más pequeño posible, obteniendo valores mayores a 0,8m/s para evitar incrustaciones de sedimentos o efectos de concreción calcárea en las tuberías. Igualmente, se procuró no exceder los 2m/s en velocidad con el fin de evitar pérdidas de energía y problemas permanentes y transitorios que se suelen generar en las redes.

**3.3.3.5 Cálculo de pérdidas de energía en redes internas.** Se obtuvo calculando la caída de energía en la dirección de flujo y que al estar éste a presión distinta de la atmosférica, se encuentra dado por la sumatoria de las pérdidas dadas por fricción y por la sumatoria de las pérdidas dadas por los accesorios en los tramos.

**3.3.3.6 Obtención del trazado de la red externa.** El trazado se obtuvo previendo la conveniencia de la instalación presente y corrigiendo adecuadamente los errores encontrados en la misma. Para ello se tuvieron en cuenta las cotas tomadas respetando el punto de ingreso a la edificación y los consumos requeridos hallados para las redes internas, así como las generalidades que proporciona la normatividad para este tipo de redes rurales.

**3.3.3.7 Obtención del pre-dimensionamiento hidráulico de la red externa.** Se establecieron los diámetros comerciales posibles para cada tramo de la red de acuerdo con los requerimientos proporcionados en el cálculo de las redes internas de cada edificación, contemplando a su vez el criterio de velocidad aplicado en el diseño de las redes internas, con el

objetivo principal de prevenir las incrustaciones de sedimentos o efectos de concreción calcárea en las tuberías, las posibles pérdidas de energía y problemas permanentes y transitorios que comúnmente se suelen generar en las redes.

**3.3.3.8 Cálculo de pérdidas de energía en la red externa.** Al igual que las redes internas el cálculo de éstas se obtuvo calculando la caída de energía en la dirección de flujo y que al estar este sistema a presión distinta de la atmosférica, se encuentra dado por la sumatoria de las pérdidas dadas por fricción y por la sumatoria de las pérdidas dadas por los accesorios en cada tramo.

**3.3.3.9 Cálculo de bombeo por medio de equipo hidroneumático.** Para la disposición de éste se tuvo en cuenta que el anclaje fuera a una base de concreto, que se encontrase superior al suelo como protección contra la humedad, que la conexión para la tubería de succión tuviera el mínimo número de cambios de dirección y que, para facilidad y protección del mismo sistema, la bomba se encontrase en una posición de succión positiva.

Para el cálculo se empleó el caudal obtenido en el desarrollo de las redes externas y se analizó la diferencia de nivel entre la ubicación del equipo de bombeo con el aparato más desfavorable de toda la red de distribución, las pérdidas de energía por fricción y por los accesorios y la presión de servicio para obtener la respectiva presión mínima absoluta. La metodología de cálculo fue obtenida de acuerdo con las ecuaciones resumidas en la Tabla 6 y tomadas respectivamente de Rodríguez en [3].

**Tabla 6.** Cálculo para bombeo hidroneumático

Parámetro	Ecuación	Descripción
<b>Potencia de la bomba</b> <sup>a</sup>	$P_{bomba} = \frac{Q_d * H_{dt}}{75 * \eta}$	Dada en caballos de potencia
<b>Presión máxima absoluta</b> <sup>b</sup>	$P_1 = P_2 + 1.5 \text{ atm}$	Volumen de aire recomendable que no exceda en más de 1.5 atm la presión mínima absoluta del depósito
<b>Número de ciclos de arranque</b>	$N = \frac{60}{T}$	El tiempo de arranques se encuentra asociado con la potencia de la bomba
<b>Volumen útil del tanque</b> <sup>c</sup>	$V = \frac{15 * Q_d * P_1}{K * N * (P_1 - P_2)}$	El sistema de tanque hidroneumático representa un volumen útil K de su volumen total

*Nota.* Recopilación del cálculo de la bomba tomada de Rodríguez en [3].

<sup>a</sup> Donde  $H_{dt}$  es la altura dinámica total en metros,  $\eta$  es la eficiencia de la bomba y  $Q_d$  es el caudal de diseño requerido en el sistema en litros por segundo.

<sup>b</sup> Donde  $P_2$  representa la presión mínima exigible para la instalación contemplando la suma geométrica desde el equipo hasta el punto más desfavorable, las pérdidas de energía y la presión de servicio.

<sup>c</sup> La elección de un sistema de tanque hidroneumático representa un volumen útil de 80% ( $K=0.8$ ) de su volumen total  $V$ , suponiendo una precarga inicial de 20psi generalmente.

## 4. Resultados

La experimentación con las muestras de agua sin tratamiento con su posterior análisis a los resultados obtenidos por el laboratorio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, los cálculos concernientes al proceso de tratamiento del agua cruda y sus redes de distribución y los planos ilustrando todos los diseños efectuados referentes a todo el proceso, fueron elaborados y recopilados obteniendo como resultado los ítems consignados en el presente apartado:



### 4.1 Calidad de agua cruda y estado actual del sistema de abastecimiento

#### 4.1.1 Informe de resultados de muestras de agua cruda

En la Figura 2 se puede evidenciar que el valor del parámetro de Turbidez se encuentra por encima del valor máximo permisible por la normatividad colombiana en el Decreto 1076 de 2015 en su artículo transitorio 2.2.3.3.9.4. del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en [5], donde se obtuvo un valor de 15.43 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT). Para los parámetros analizados de coliformes totales y termo tolerantes se obtuvieron valores que no superaron los permitidos por la norma en sus artículos transitorios 2.2.3.3.9.3. y 2.2.3.3.9.4., pero que sí requieren de un tratamiento convencional y de desinfección para el consumo humano.

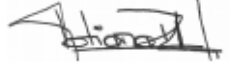
Igualmente, dentro de los demás parámetros analizados se encontró que en su mayoría se encontraban por debajo del rango máximo aceptable dados por la Resolución 2115 de 2007 en su artículo 6 y 7 y caracterizados en los cuadros 3 y 4 respectivamente en [6] y únicamente el valor de Hierro Total obtuvo un puntaje 1.96 mg/L Fe, siendo un valor aceptado por el Decreto 1076 de 2015 pero que en la Resolución 2115 de 2007 se encuentra sobrepasando el máximo aceptable y que indica que podría tener consecuencias económicas e indirectas sobre la salud, por lo tanto fue necesario diseñar el tratamiento respectivo para mitigar dicho parámetro.

Figura 2. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos en la salida del pozo profundo

		CENTRO COMERCIAL CENTRO NORTE OFICINA 014 – 3er PISO. TUNJA, BOYACÁ TEL: 743.99.27 – CEL: 321.203.90.55 300.218.48.26 www.labcontrolmicrobiologico.com info@labcontrolmicrobiologico.com			
<b>INFORME DE RESULTADOS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS N.º AGO19 FQ0679 – M2644</b>					
<b>INFORMACIÓN DE LA MUESTRA</b>					
<b>Punto de muestreo:</b>	Salida Bomba.				
<b>Fuente:</b>	Pozo Profundo.				
<b>Tipo de Muestra:</b>	Agua Cruda con Destino a Consumo Humano.	<b>Hora de toma:</b>	14:00	<b>Volumen de Muestra (mL)</b>	400
<b>Fecha de toma de la muestra:</b>	2019-08-05	<b>Temperatura in situ (°C)</b>	11	<b>Temperatura recepción (°C)</b>	2
<b>Fecha de recepción de la muestra:</b>	2019-08-05	<b>Responsable de toma de muestra:</b>	John Gómez / Cliente	<b>Fecha de análisis:</b>	2019-08-05
<b>INFORMACIÓN DEL CLIENTE</b>					
<b>Nombre:</b>	John Freddy Gómez		<b>Dirección</b>	Km 5 Vía Tunja – Villa de Leyva. Tunja / Boyacá	
<b>RESULTADOS</b>					
<i>Características Fisicoquímicas</i>					
<small>Analizado por QA01 Revisó M01</small>					
Análito Evaluado	Resultado Expresado como	Método analítico / Técnica	Resultado	Criterio Admisible	
Conductividad	(µS/cm)	EPA 120.1:1982	247	●	
Color Real	(U.P.C)	ISO 7887:2011	8,0	20 Solo desinfección.	75 Trat. Convencional.
pH	(Unidades de pH)	EPA 150.1:1982	7,24	5,00-9,00	
Turbidez	(U.N.T)	ISO 7027:1999	<b>15,43</b>	10,00	
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	DIN 38409-H7:2004-3	140,0	●	
Calcio	mg/L Ca	DIN 38406-E3:2002-3	22,50	●	
Cloruros	mg/L Cl	EPA 325.3:1982	10,0	250	
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	DIN 38406-E3:2002-3	65,07	●	
Fosfatos	mg/L PO <sub>4</sub>	ASTM D515:1997	0,31	●	
Hierro	mg/L Fe	EPA 315 B:1999	1,96	2,00 (*)	
Magnesio	mg/L Mg	SM 3500 Mg B:2017	2,15	●	
Nitratos	mg/L N	ASTM D 3867-04	1,20	10,0	
Nitritos	mg/L N	ATP EPA/ORION AC2046	0,03	1,0	
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub>	DIN 38405-5:1985-01	10,0	400	
Zinc	mg/L Zn	SM 3500-Zn B:2017	0,05	15,0	
<i>Características Microbiológicas</i>					
<small>Analizado por B01 Revisó M01</small>					
Análito Evaluado	Resultado Expresado como	Método analítico / Técnica	Resultado	Criterio Admisible	
Coliformes Totales	NMP/100 mL	SM 9221B:2017	31	1000 NMP/100 mL	Solo requiere desinfección.
				20.000 NMP/ 100 mL	Requiere tratamiento convencional
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	SM 9221E:2017	31	Si el resultado es <2,0 Solo requiere desinfección.	
				2.000 NMP/ 100 mL	Requiere tratamiento convencional
<i>CONVENCIONES</i>					
<small>SM: Standard Methods 23<sup>rd</sup> Edition/U.P.C: Unidades Platino Cobalto/U.N.T Unidades Nefelométricas de Turbidez. ND: No Detectable / U.F.C: Unidades formadoras de colonia. EPA: Environmental Protection Agency. DIN: Instituto Alemán de Normalización. ISO: Organización Internacional de Normalización.</small>					
<b>RESUMEN DE RESULTADOS:</b>					
Solo los resultados demarcados (negrita y subrayados) se encuentran por fuera de los valores aceptables consignados en la Normatividad Aplicable: Decreto 1076:2015, Artículos Transitorios 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).					
<b>OBSERVACIONES:</b>					
(●) Para este analito no existe Límite Admisible Normativo. (*) Referente Bibliográfico. -Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. -Este certificado solo puede ser reproducido por el laboratorio. -Se indica que para su potabilización se requiere: <b>Tratamiento convencional</b> y/o Solo Desinfección.					
					
ADRIANA RUEDA ULLOA. Director Técnico.					

En la Figura 3 se puede apreciar que los valores analizados en la salida del tanque después del pozo profundo de los parámetros obtenidos son aceptables por la normatividad, pero que sí implican de un cuidado por parte del complejo para conservar las características propias del recurso hídrico al ser bombeada del respectivo pozo profundo.

**Figura 3.** Parámetros obtenidos en la salida del tanque de almacenamiento después del pozo

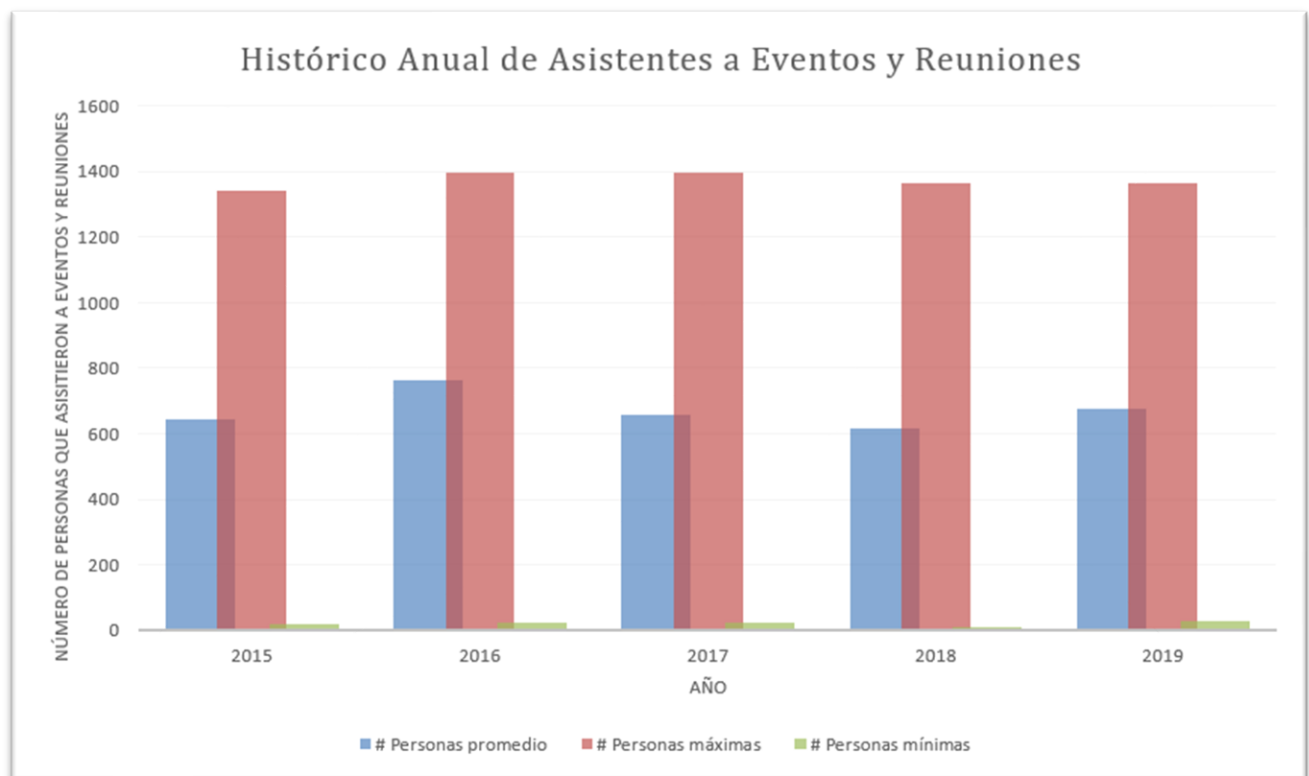
CONTROL MICROBIOLÓGICO		CENTRO COMERCIAL CENTRO NORTE OFICINA 014 – 3er PISO. TUNJA, BOYACÁ TEL: 743.99.27 – CEL: 321.203.90.55 300.218.48.28 www.labcontrolmicrobiologico.com info@labcontrolmicrobiologico.com			
<b>INFORME DE RESULTADOS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS N.º ENE20 FQ0037- M0202</b>					
<b>INFORMACIÓN DE LA MUESTRA</b>					
<b>Punto de muestreo:</b>	Salida Bomba.				
<b>Fuente:</b>	Tanque de Almacenamiento después del Pozo,				
<b>Tipo de Muestra:</b>	Agua Cruda con destino a Consumo Humano.	<b>Hora de toma:</b>	14:30	<b>Volumen de Muestra (mL)</b>	1500
<b>Fecha de toma de la muestra:</b>	2020-01-28	<b>Temperatura in situ (°C)</b>	17	<b>Temperatura recepción (°C)</b>	3
<b>Fecha de recepción de la muestra:</b>	2020-01-28	<b>Responsable de toma de muestra:</b>	Jhon Gómez / Cliente	<b>Fecha de análisis:</b>	2020-01-28
<b>INFORMACIÓN DEL CLIENTE</b>					
<b>Nombre:</b>	Jhon Freddy Gómez.		<b>Dirección</b>	Calle 22 N.º 9-27 Tunja / Boyacá	
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Características Físicoquímicas</b> <span style="float: right;">Analizado por Q601. Revisó M01</span>					
<b>Analito Evaluado</b>	<b>Resultado Expresado como</b>	<b>Método analítico / Técnica</b>	<b>Resultado</b>	<b>Criterio Admisible</b>	
Cloro Libre Residual	mg/L Cl <sub>2</sub>	DIN 7393 G4-2:2012	0,00	•	
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	DIN 1899-2:1998 + DIN 25813:1992	<3	<7,0 (°)	
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	EPA 410.4:1993	<15	<30 (°)	
Sólidos Sedimentables	mL/L/h	EPA 160.5:1974	64	•	
<b>Características Microbiológicas</b> <span style="float: right;">Analizado por B01. Revisó M01</span>					
<b>Analito Evaluado</b>	<b>Resultado Expresado como</b>	<b>Método analítico / Técnica</b>	<b>Resultado</b>	<b>Criterio Admisible</b>	
Coliformes Totales	NMP/100 mL	SM 9221B:2017	640	Cuando se use el recurso para riego de frutas que se consumen sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto... <5000 NMP/100 mL	
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	SM 9221E:2017	20	Cuando se use el recurso para riego de frutas que se consumen sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto... <1000 NMP/100 mL	
<b>CONVENCIONES</b>					
SM: Standard Methods 23 <sup>th</sup> Edition / U.P.C: Unidades Platino Cobalto / U.N.T: Unidades Nefelométricas de Turbidez. ND: No Detectable / U.F.C: Unidades formadoras de colonia. EPA: Environmental Protection Agency. DIN: Instituto Alemán de Normalización. ISO: Organización Internacional de Normalización.					
<b>RESUMEN DE RESULTADOS:</b>					
Solo los resultados demarcados ( <b>negrita y subrayados</b> ) se encuentran por fuera de los valores aceptables consignados en la Normatividad Aplicable: Decreto 1076:2015, Artículo Transitorio 2.2.3.3.9.5 ( <b>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</b> ) estipulados para la destinación del recurso a Uso Agrícola.					
<b>OBSERVACIONES:</b>					
-Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.					
-Este certificado solo puede ser reproducido por el laboratorio.					
 <b>ADRIANA RUEDA ULLOA.</b> Director Técnico.					
Página 1 de 1 del Informe N.º ENE20 FQ0037- M0202 emitido en Tunja: 2020-02-04 FIN DEL INFORME.					

#### 4.1.2 Registros de población flotante que concurre a las instalaciones

La administración del complejo Villa Campestre Bosques de Florencia, proporcionó los datos históricos por semanas en los últimos 5 años, de asistentes a sus instalaciones para los distintos eventos y reuniones, teniendo en cuenta el número de personas que de igual forma se hospedaban en éste y utilizaban el complejo como un lugar de esparcimiento y contexto adicional a las actividades que comúnmente son brindadas por el mismo.

Los datos fueron tabulados e ilustrados para su mejor comprensión y determinar la información necesaria relevante para la realización de los respectivos diseños en la Figura 4 y Tabla 24 del apéndice F respectivamente.

**Figura 4.** Histórico anual de población flotante en eventos y reuniones.



### 4.1.3 Cotas de puntos de acometida

En la Tabla 7, se presentan las cotas-terreno medidas para cada edificación del complejo:

**Tabla 7.** Cotas en puntos de acometida para cada edificación

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Presión Atm</b>	<b>Cota terreno</b>
<b>Edificación</b>	<b>Uso</b>	<b>hPa</b>	<b>msnm</b>
<b>Cabaña</b>	Hospedaje	704.66	2960.03
<b>Ensueño</b>	Salón mixto	703.75	2970.15
<b>Fantasia</b>	Salón de eventos	703.95	2967.87
<b>Hangar</b>	Salón de eventos	704.38	2963.09
<b>Ilusión</b>	Salón de eventos	704.64	2960.15
<b>Lavandería</b>	Mantenimiento	704.22	2964.94
<b>Nupciales</b>	Hospedaje	704.82	2958.14
<b>Spa</b>	Hospedaje	704.55	2961.19

*Nota.* Valores tomados con altímetro, GPS y acelerómetro de alta precisión en campo.

### 4.1.4 Caudales y presiones medidas en los puntos

En el apéndice F de la Tabla 25 a la Tabla 32, se tabulan y ordenan independientemente los datos obtenidos de las mediciones respectivas de caudales y presiones pertenecientes a cada punto y aparato sanitario presente en cada una de las edificaciones del complejo Villa Campestre Bosques de Florencia.

## 4.2 Memorias de cálculo de la planta de tratamiento

### 4.2.1 Elementos de diseño

A continuación, en la Tabla 8 se recopilan los resultados de los cálculos correspondientes a los elementos de diseño para la planta de tratamiento de acuerdo con lo especificado en el Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico RAS en [8].

**Tabla 8.** Resultados de cálculos de elementos de diseño

Elementos	Resultado	Descripción
Población (p)	p=1500 pers.	Dado por la capacidad del complejo
Periodo de diseño	25 años	Para todos los componentes
Dotación neta	$d_{neta} = 120L/hab * día$	A la altura promedio de 2960 msnm
Pérdidas técnicas	25%	De acuerdo con el tipo de actividad
Dotación bruta	$d_{bruta} = 160/hab * día$	
Caudal medio diario	$Q_{md} = 2.78L/s$	
Caudal máximo diario	$Q_{MD} = 3.61L/s$	Con $k_1 = 1.3$
Caudal máximo horario	$Q_{MH} = 5.78L/s$	Con $k_2 = 1.6$
Caudal de diseño	<b><math>QD = 3.62L/s</math></b>	

Nota. Metodología para el cálculo aplicada y tomada del RAS en [8].

#### 4.2.2 Cálculo de unidad de entrada

Diseño de canal circular de Manning: para ello se eligió trabajar con tubería de PVC de la marca comercial predominante en el país “PAVCO” y en donde se establece que el coeficiente de rugosidad de Manning está dado por  $n = 0.009$  "para tubería PVC" y en donde en la Figura 5 se resumen las especificaciones de tubería RDE 21 en PVC de tipo comercial tomadas de su catálogo de productos en [23].

**Figura 5.** Especificaciones de tubería en PVC RDE 21 PAVCO[23].

RDE 21 PVC Tipo 1, Grado 1							
Presión de trabajo a 23°C: 200 psi - 1.38 MPa - 14.06 Kg/cm <sup>2</sup>							
Diámetro Nominal	Referencia	Peso Aprox.	Diámetro Exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo		Diámetro Interior Prom.
pulg		Kg/m	mm	pulg.	mm	pulg.	mm
2	2900010	0.81	60.32	2.37	2.87	0.11	54.58
2.1/2	2900018	1.18	73.03	2.87	3.48	0.14	66.07
3	2900022	1.76	88.90	3.50	4.24	0.17	80.42
4	2900033	2.90	114.30	4.50	5.44	0.21	103.42
6	2900043	6.31	168.28	6.62	8.03	0.32	152.22
8	2900054	10.67	219.08	8.62	10.41	0.41	198.21
10	2902411	16.63	273.05	10.75	12.98	0.51	247.09
12	2902421	23.45	323.85	12.75	15.39	0.60	293.07
14	2902431	28.14	355.60	14	16.92	0.67	321.76
16	2902435	36.78	406.40	16	19.35	0.76	367.70
18	2902439	46.53	457.20	18	21.77	0.86	413.66
20	2902443	53.82	508.00	20	24.18	0.95	459.64
24	NUEVO	80.62	609.6	24	29.03	1.14	551.54

Debido a que el tirante en el canal circular no debe ser mayor que el 75%, se tomó el valor de  $y=77.56\text{mm}$  siendo el 75% del valor del diámetro efectivo supuesto de 4 pulgadas proporcionado por el fabricante de tubería PVC PAVCO en [23]. Por medio del uso del software HCANALES, se calcula el valor de la pendiente con el fin de conservar las propiedades óptimas en cada etapa del filtro FIME y se presenta la ilustración correspondiente en la Figura 6:

**Figura 6.** Ejecución del software HCanales para cálculo de la pendiente

The screenshot displays the 'Cálculo de la pendiente (S)' window of the HCANALES software. It is divided into two main sections: 'Datos' (Data) and 'Resultados' (Results). A diagram of a circular channel with diameter 'd' and water depth 'y' is shown on the right. The 'Datos' section includes input fields for Caudal (Q), Tirante (y), Diámetro (d), and Rugosidad (n). The 'Resultados' section displays calculated values for Pendiente (S), Area hidráulica (A), Espejo de agua (T), Número de Froude (F), Tipo de flujo, Perímetro mojado (p), Radio hidráulico (R), Velocidad (v), and Energía específica (E). At the bottom, there are icons for 'Calcular', 'Limpiar Pantalla', 'Imprimir', 'Menú Principal', and 'Calculadora'.

Cálculo de la pendiente (S)		Cálculo de la rugosidad (n)	
<b>Datos:</b>			
Caudal (Q):	0.00362	m <sup>3</sup> /s	
Tirante (y):	0.077565	m	
Diámetro (d):	0.10342	m	
Rugosidad (n):	0.009		
<b>Resultados:</b>			
Pendiente (S):	0.002366	m/m	Perímetro mojado (p):
Area hidráulica (A):	0.0068	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R):
Espejo de agua (T):	0.0896	m	Velocidad (v):
Número de Froude (F):	0.6226		Energía específica (E):
Tipo de flujo:	Subcrítico		

Al asumir inicialmente que el canal se encuentra lleno, se tiene que el radio hidráulico está dado por la relación entre el área del canal y el perímetro del canal y partiendo de la ecuación de Manning a conocimiento de que el caudal es el producto de la velocidad y el área, se despejó el diámetro del canal con el fin hallar y comprobar por medio de las tablas de relaciones hidráulicas que la velocidad se encuentre dentro del rango mínimo requerido para su correcto funcionamiento de acuerdo con lo especificado en el Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico RAS en [8] y se recopilaron dichos resultados en la Tabla 9.

**Tabla 9.** *Cálculo de unidad de entrada FIME*

	<b>Resultado</b>	<b>Descripción</b>
<b>Diámetro ecuación de Manning</b>	$d = 0.0999m$ $\approx d = \mathbf{0.10342m}$	Valor comercial del diámetro nominal en pulgadas de <b>4"</b> de PAVCO en [23]
<b>Aplicación de las tablas de relaciones hidráulicas</b>	$Q_o = 0.00397 m^3/s$	Comprobación por medio de las tablas de relaciones hidráulicas
	$\frac{Q}{Q_o} = 0.911 \cong 0.91$	
	$\frac{V}{V_o} = 1.021$	Verificando su cumplimiento con el rango de velocidad dado por el RAS [8]
	$V_o = \frac{Q_o}{A} = 0.477 \frac{m}{s}$  $V = \mathbf{0.48 m/s}$	

*Nota.* Aplicación de la ecuación de Manning para obtención del diámetro tomado de [24].

De acuerdo con la resolución 0330 de 2017 del RAS en el párrafo de su artículo 114 en [8], el mínimo número de unidades de filtración debe ser de tres (N=3) y debido a que se secciona en 3 unidades los filtros sus interconexiones de etapas se calcularon y recopilaron en la Tabla 10.

**Tabla 10.** *Cálculo unidad de entrada interconexiones FIME*

	<b>Resultado</b>	<b>Descripción</b>
<b>Diámetro ecuación de Manning</b>	$d = 0.0661m$ $\approx d = \mathbf{0.08042m}$	Valor comercial del diámetro nominal en pulgadas de <b>3"</b> de PAVCO en [21]
<b>Aplicación de las tablas de relaciones hidráulicas</b>	$Q_o = 0.0020298 m^3/s$	Comprobación por medio de las tablas de relaciones hidráulicas
	$\frac{Q}{Q_o} = 0.59 \cong 0.6$	
	$\frac{V}{V_o} = 0.9$	Verificando su cumplimiento con el rango de velocidad dado por el RAS [8]
	$V_o = \frac{Q_o}{A} = 0.399 \frac{m}{s}$  $V = \mathbf{0.36 m/s}$	

*Nota.* Aplicación de la ecuación de Manning para obtención del diámetro tomado de [24].

**4.2.3 Cálculo de filtración FIME**

De acuerdo con la anterior sección de diagnóstico de la calidad de agua, se puede apreciar que el método recomendado de tratamiento requerido es convencional según la normativa por sus artículos transitorios y con respecto a el informe de resultados proveído por el laboratorio en donde se aprecia un valor de turbidez de 15.43 UNT, no puede ser empleada únicamente una Filtración Lenta de Arena como tratamiento final de agua cruda, ya que supera la recomendación de 15 UNT a pesar de cumplir con el resto de propiedades dictaminadas en la Ficha Técnica C.Fi.2 en [9], por lo tanto, de acuerdo a la baja complejidad del sistema se diseñó un tratamiento por medio de Filtración Lenta en Múltiples Etapas (FIME) que empleándose como multi barrera se pueden controlar los cambios bruscos de la calidad de agua, siendo adaptable para sistemas con valores de turbiedad inferiores a 80 UNT remitidos en [9], lo cual demuestra la perfecta aplicabilidad para el actual escenario. En la Tabla 11 se exponen los cálculos del diseño de la filtración FIME.

**Tabla 11.** Cálculo de filtración FIME

<b>Etapa FIME</b>	<b>Elemento</b>	<b>Resultado</b>
<b>Cálculo de filtro dinámico FGD<sub>i</sub></b>	Área total del filtro	$A_t = 6.5m^2$
	Área de cada unidad	$A_f = 2.16m^2$
	Caudal de cada unidad	$Q_f = 4.33m^3/h$
	Ancho	$b = \sqrt[2]{\frac{A_f}{M}} = 0.7359m \approx b = 0.8m$
	Largo	$L = \frac{A_f}{b} = 2.71m \approx L = 2.7m$
<b>Cálculo de filtro grueso ascendente FGAS</b>	Área superficial del filtro	$A_s = 32.5m^2$
	Área de cada unidad	$A_f = 10.83m^2$
	Caudal de cada unidad	$Q_f = 4.33m^3/h$
	Ancho	$b = \sqrt[2]{\frac{A_f}{M}} = 1.9003m \approx b = 1.9m$
	Largo	$L = \frac{A_f}{b} = 5.7017m \approx L = 5.7m$

**Tabla 11 (Continuación).** *Cálculo de filtración FIME*

<b>Etapa FIME</b>	<b>Elemento</b>	<b>Resultado</b>
<b>Cálculo de filtro lento de arena FLA</b>	Área superficial del filtro	$A_s = 26m^2$
	Área de cada unidad	$A_f = 8.66m^2$
	Caudal de cada unidad	$Q_f = 4.33m^3/h$
	Coefficiente de costo mínimo	$K = \frac{(2 * N)}{(N + 1)} = 1.5$
	Ancho	$b = \sqrt[2]{\frac{A_f}{K}} = 2.4037m \approx \mathbf{b = 2.4m}$
	Largo	$L = \sqrt[2]{A_f * K} = 3.6055m \approx \mathbf{L = 3.6m}$

*Nota.* Datos calculados de acuerdo con las especificaciones dadas en el RAS en [8] y la guía para diseño de sistemas de tratamientos de filtración en múltiples etapas en [19].

**4.2.4 Sistemas de drenaje**

El sistema de recolección se estableció por medio de drenajes perforados en tubería de PVC de 3” consistentes con el cálculo de cada unidad de entrada y dispuestos por un tallo principal y ramificaciones laterales unidas con cruces en PVC establecidas en [9] de acuerdo con los cálculos previamente realizados y recopilados en la Tabla 12:

**Tabla 12.** *Diámetros de drenajes perforados en tubería PVC*

<b>Drenajes en PVC de 3” (pulgadas)</b>		
Drenes laterales (2 a 4 [mm])	4	mm
separación drenes laterales (0.1 a 0.3 [m])	0.3	m
separación entre drenes laterales FGDi	0.17 <sup>a</sup>	m
separación drenes laterales con pared	0.09 <sup>a</sup>	m
separación entre drenes laterales FGAS	0.36 <sup>a</sup>	m
separación drenes laterales con pared	0.18 <sup>a</sup>	m
separación entre drenes laterales FLA	0.23 <sup>a</sup>	m
separación drenes laterales con pared	0.12 <sup>a</sup>	m
Pérdida de carga max=10%	10	%
Velocidad máxima en los drenes	0.5	m/s

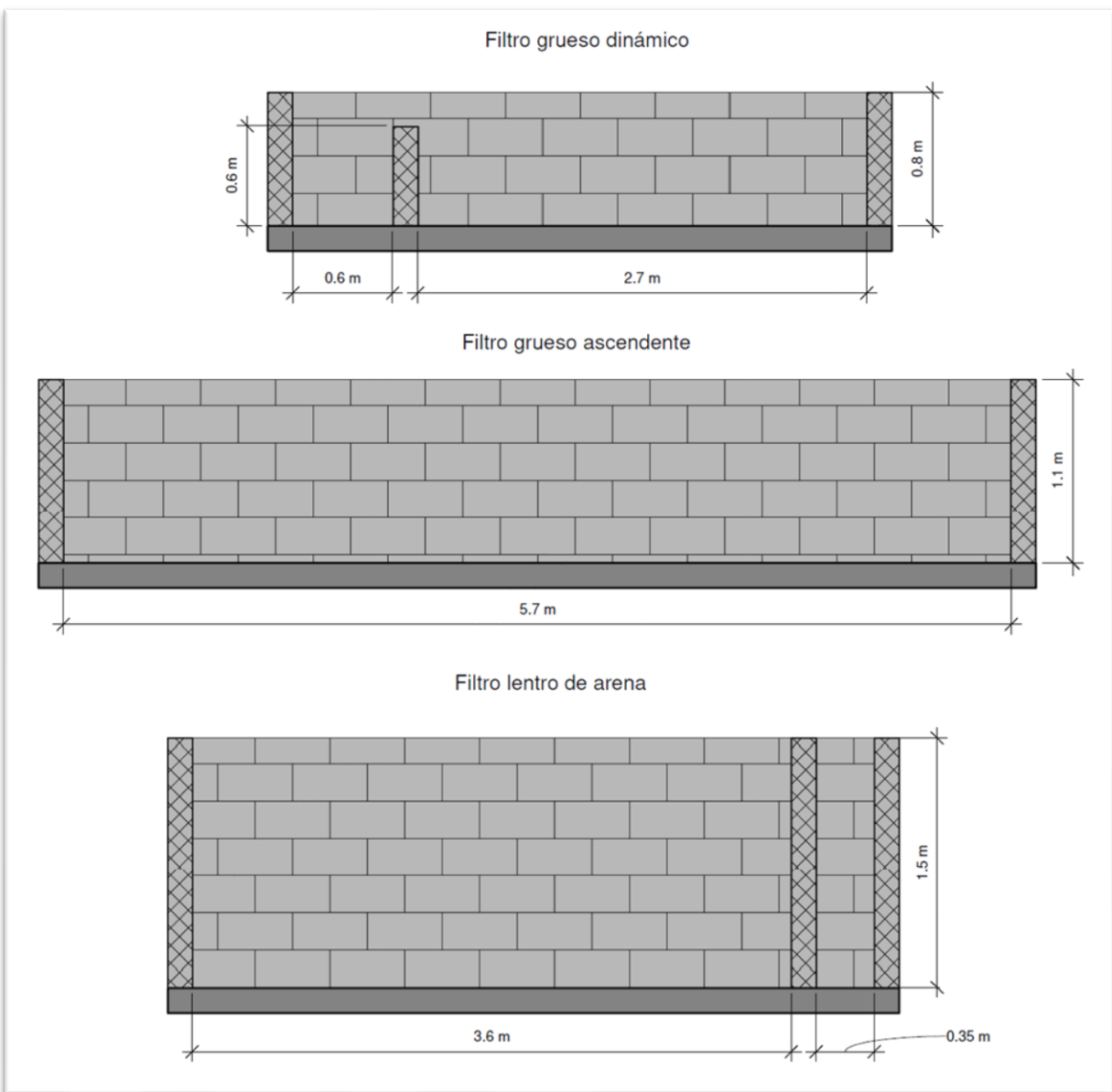
*Nota:* Datos hallados basados en el RAS Título C. Ficha técnica C.Fi.2 ítem k [9].

<sup>a</sup> Se toma el largo de la unidad y se le saca la 1/16 y 1/32 parte respectivamente.

#### 4.2.5 Medios de soporte y lechos filtrantes

Se organizaron de acuerdo con las especificaciones proporcionadas por el RAS Título C Fichas técnicas C.Fi.2 y C.Fi.3 en [9] en donde se relaciona el tamaño de grano y las alturas de capas recomendadas para la debida operación de cada filtro en la Tabla 13 e ilustrando en vista alzado por un costado en la Figura 7:

**Figura 7.** Ilustración propia en alzado de etapas FGD<sub>i</sub>, FGAS y FLA



**Tabla 13.** Niveles de medios filtrantes para Filtros FGD<sub>i</sub>, FGAS y FLA

<b>FGD<sub>i</sub></b>	cm	Grano promedio mm
<i>Grava 13-25 mm</i>	20	25
<i>Grava 6-13 mm</i>	20	12
<i>Grava 3-6 mm</i>	20	6
<i>sobrenadante</i>	20	
<b>Altura total filtro</b>	<b>80</b>	
<b>FGAS</b>	cm	
<i>Grava 18-25 mm</i>	20	
<i>Grava 12-18 mm</i>	20	
<i>Grava 6-12 mm</i>	20	
<i>Grava 3-6 mm</i>	30	
<i>sobrenadante</i>	20	
<b>Altura total del filtro</b>	<b>110</b>	
<b>FLA</b>	Desde el fondo cm	
<i>Grava 3-6 mm</i>	10	
<i>Arena 0,15-0,35mm</i>	105	
<i>Nivel Agua min</i>	110	
<i>Nivel Agua máx.</i>	150	
<i>Rebose Limpieza</i>	140	
<i>Agua sobrenadante</i>	150	
<b>Altura total del filtro</b>	<b>150</b>	

*Nota:* Se resalta en negro la altura total de cada filtro teniendo en cuenta los espesores de capas [9].

#### 4.2.6 Unidad de desinfección

Para la incorporación del sistema de desinfección por radiación ultravioleta se partió de los parámetros proporcionados por la Resolución 0330 del año 2017 en su artículo 121 tabla 15 en [8]. “Parámetros de desinfección por radiación ultravioleta” y en donde por conveniencia del sistema se dispone de un reactor de luz ultravioleta en un canal de tipo cerrado sin contacto. Seleccionando de la marca colombiana “SYNERTECH Water Technologies” de su catálogo de filtros de desinfección UV de agua de acuerdo con los requerimientos de tratamiento hallados anteriormente, se tiene la referencia con las especificaciones recopiladas en la Tabla 14 y su respectiva apariencia ilustrada en la Figura 8 [25]:

**Tabla 14.** Especificaciones técnicas de filtro Ultravioleta marca SYNERTECH

Modelo	PDC-360	
Tasa de flujo	15	m <sup>3</sup> /h
Potencia Lámpara	200	W
Entrada	65	mm
Salida	2 1/2	Pulgadas
Longitud cámara	1	m
Ancho de cámara	40	cm
Diámetro de cámara	16	cm
Luz de mercurio	253.7	nm
Dosificación UV	30	mW-s/cm <sup>2</sup>
Vida útil lámpara	7500 a 10000	horas
Frecuencia de cambio lámpara	10 a 12	meses

*Nota:* Especificaciones técnicas dadas por SYNERTECH [25].

**Figura 8.** Ilustración de filtro UV marca SYNERTECH [25]

#### 4.2.7 Cálculo del tanque de contacto

De acuerdo con la Resolución 0330 de 2017 en su artículo 121, párrafo 2 en [8], la desinfección por cloración debe emplear tanque de contacto antes de su almacenaje con un tiempo de contacto de mínimo 20 minutos; su respectivo diseño se puede apreciar en la Tabla 15.

**Tabla 15.** *Cálculo del tanque de contacto*

Variable	Resultado	Descripción
Tiempo de contacto	$t_c = 20min = 0.33h$	
Volumen de tanque	$V = 4.33m^3 \approx 4.4m^3$	
Altura de tanque	$h = 1.5m$	Altura asumida
Área superficial	$A_s = 2.93m^2$	
Ancho	$b = 1.2m$	Suponiendo relación
Largo	$L = 2.44m \approx 2.45m$	largo/ancho de 2 a 1
Longitud total	$L_{tot} = 3.75m$	Adoptando 5 canales y 4 tabiques
Tiempo de recorrido	$t_{rec} = \frac{L_{rec}}{V} = 27.52 min$	Verificando el tiempo de requisito por el RAS

*Nota.* Requisitos tomados para su cálculo de la Resolución 0330 de 2017 en [8].

#### 4.2.8 Cálculo del sistema de almacenamiento

Tanto la capacidad de almacenamiento como la capacidad de regulación están supeditadas a el análisis de la población asistente al complejo para actividades propias de la organización, como lo indica la Resolución 0330 del año 2017 en su artículo 81 “Volumen útil del tanque de almacenamiento” en [8] se obtienen las respectivas dimensiones y se presentan en la Tabla 16.

**Tabla 16.** *Cálculo del sistema de almacenamiento*

Elemento	Resultado	Descripción
Volumen de tanque	$V_{Tanque} = 104m^3$	
Profundidad del tanque	$h = 2.35 \approx 2.4m$	Con constante $K=2^a$
Volumen tanque 1 y 2	$V_{t1 y t2} = \frac{V_{tanque}}{2} = 52m^3 c/u$	2 unidades para facilitar labores de mantenimiento
Longitud lateral c/u	$L_t = \sqrt[2]{V_{t1 y t2}} = 4.65m \approx 4.7m$	

*Nota.* Recopilado para su cálculo de la Resolución 0330 de 2017 en [8].

<sup>a</sup> Constante en función de la capacidad del tanque de almacenamiento según la tabla 12.1 en [2].

#### **4.2.9 Planos de la planta de tratamiento de agua**

Los planos respectivos que reflejan los cálculos efectuados en el apartado anterior son ordenados e ilustrados en el apéndice B y su contenido está compuesto por: tanques de almacenamiento de agua cruda después de pozo profundo, tanques de filtro grueso dinámico, tanques de filtro grueso ascendente, tanques de filtro lento de arena, compartimentos para disposición de filtros ultravioleta, tanque de contacto, tanques de almacenamiento de agua tratada y cuarto de bombeo hidroneumático con sus respectivas interconexiones por medio de PVC.

En el apéndice B plano A001 se presenta la vista en planta #1 con el respectivo distanciamiento y tamaño entre etapas de filtrado, tanques de llegada y almacenamiento, tanque de contacto y cuarto de bombas. Igualmente, en las vistas #2, 3, 4 y 5 las dimensiones en alzado de cada estructura y en la vista #6 una orientación isométrica de toda la planta de tratamiento.

Por otro lado, en el apéndice B plano A002 se presentan los tamaños en diámetro, ubicación y distanciamiento de las tuberías en material PVC de las conexiones internas y externas correspondientes a la conducción del agua en proceso de tratamiento entre las diversas etapas del filtro FIME, reunidas en la vista en planta #1 de todo el proceso, las vistas # 2,3,4,5 y 7 que ilustran en alzado la configuración de cada etapa y por último la vista #6 que refleja una representación isométrica de la planta de tratamiento con las respectivas conexiones en tubería.

### **4.3 Memorias de cálculo de la red hidráulica con sistema de bombeo**

#### **4.3.1 Cálculo de redes internas de cada edificación**

**4.3.1.1 Listado de aparatos sanitarios.** Se presenta una recopilación de la totalidad de aparatos sanitarios en cada edificación por separado con el caudal mínimo, el caudal recomendado y las unidades de consumo indexados dentro de la Tabla 33 a la tabla 40 en el apéndice F.

**4.3.1.2 Método de Hunter modificado.** Pre-dimensionamiento por medio del cálculo en cada tramo de los caudales máximos probables con su respectivo diámetro y velocidad real compilados independientemente de la tabla 41 a la tabla 48 del apéndice F para cada edificación respectivamente.

**4.3.1.3 Características de la red.** Hasta el aparato más desfavorable en donde se presentan los accesorios con su respectiva longitud, diámetros y velocidad; los tramos en las edificaciones Ensueño, Ilusión y SPA son mostrados por ramales con el fin de determinar la ruta con más desfavorabilidad en dichas edificaciones y son listados para cada edificación desde la Tabla 49 hasta la Tabla 60 en el apéndice F.

**4.3.1.4 Pérdida de energía por fricción y accesorios.** Se realizaron los cálculos correspondientes para cada tramo de tubería con sus respectivos accesorios de la pérdida por fricción y local por medio de la longitud equivalente, con el objeto de determinar en cada edificación la ruta con menos favorabilidad para la red y posteriormente la energía mínima necesaria para su correcto funcionamiento; igualmente, se realizaron los cálculos para cada tramo del número de Reynolds, el factor de fricción y el coeficiente de resistencia tomados de Rodríguez en [3] necesarios para aplicar en las ecuaciones expuestas por autor. Para ello en el apéndice F desde la Tabla 61 hasta la Tabla 72 se totaliza individualmente la sumatoria de pérdidas de cada edificación con las diferentes opciones de ramales y se presentan en tablas separadas para su correcta discriminación y debida comprensión.

### 4.3.2 Cálculo de redes externas

**4.3.2.1 Determinación de la energía mínima necesaria en cada edificación.** En la Tabla 17 se recopilan los valores obtenidos del apartado anterior, en donde se resumen los valores hallados para los tramos de cada edificación con la pérdidas correspondientes de cada ramal interno y se resalta la presión mínima necesaria requerida para cada edificación.

**Tabla 17.** *Energía mínima necesaria en cada edificación*

<b>Edificación</b>	<b>Tramo</b>	<b>Zk</b>	<b>Pk/y</b>	<b>hf</b>	<b>hl</b>	<b>Ps/y</b>
	<b>#</b>	<b>m</b>	<b>m.c.a.</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m.c.a.</b>
<b>Cabaña</b>	0	2.71	7	3.19	1.31	<b>14.21</b>
<b>Ensueño</b>	1	1.49	7	3.96	2.90	<b>15.36</b>
	2	2.55	7	2.80	1.90	14.25
	3	4.00	7	1.78	1.46	14.24
<b>Fantasia</b>	0	2.88	7	3.68	1.11	<b>14.67</b>
<b>Hangar</b>	0	0.50	10	1.25	1.23	<b>12.98</b>
<b>Ilusión</b>	1	5.08	7	0.76	1.28	14.11
	2	2.20	7	7.67	1.61	<b>18.48</b>
<b>Lavandería</b>	0	3.50	7	1.96	0.79	<b>13.25</b>
<b>Nupciales</b>	0	2.45	7	1.02	0.76	<b>11.23</b>
<b>Spa</b>	1	4.84	7	1.56	1.03	14.43
	2	5.14	7	1.82	1.57	<b>15.53</b>

*Nota.* Energía mínima necesaria para el funcionamiento de cada tramo de red en cada una de las edificaciones. Zk es la elevación al aparato más desfavorable desde el punto de referencia de cada edificación que está ubicado en la válvula principal medida en metros (m) en la acometida de llegada desde la red externa, Pk/y es la altura en metros cabeza de agua (m.c.a.) requerida para el correcto funcionamiento del aparato más desfavorable en el tramo de la red, hf y hl son las pérdidas por fricción y locales de las redes internas halladas anteriormente respectivamente, y la presión solicitada para el correcto funcionamiento de la red Ps/y es determinada según lo establecido por la ecuación de energía en [3].

Los valores resaltados en color negro en la Tabla 17 corresponden a la selección de la solicitación más desfavorable de cada tramo de trazo interno en la red de cada edificación, con el fin de asegurar el mínimo funcionamiento del sistema en su totalidad.

**4.3.2.2 Obtención de caudales requeridos en la red externa.** En la Figura 9 se ilustra delineado en color verde el trazo de tubería para distribución de agua a cada edificación sobre una toma real del complejo tomada del repositorio de Google Maps [26], partiendo de la ubicación de los tanques de almacenamiento después del filtro FIME identificado con el cero “0” en color celeste el nodo y a partir de éste la continuidad del resto de nodos de interés a analizar.

**Figura 9.** Trazo propio de red externa abierta con numeración de nodos



**4.3.2.2.1 Parámetros iniciales obtenidos para red externa.** En la Tabla 18 se recopilan los datos obtenidos anteriormente entre los que se encuentran las cotas terreno, la presión mínima requerida, el caudal máximo probable y la asignación del nodo en la acometida para cada edificación de la red abierta exterior con el fin de tener en cuenta como parámetros iniciales para su respectivo cálculo.

**Tabla 18.** *Parámetros iniciales de la red abierta externa*

<b>Edificación</b>	<b>Nodo</b>	<b>Cota terreno</b>	<b>Ps/y</b>	<b>Qmax Probable</b>
	<b>#</b>	<b>msnm</b>	<b>m.c.a.</b>	<b>lps</b>
<b>Cabaña</b>	7	2960	14.21	1.78
<b>Ensueño</b>	10	2970	15.36	4.89
<b>Fantasía</b>	3	2968	14.67	4.86
<b>Hangar</b>	12	2963	13.00	2.47
<b>Ilusión</b>	15	2960	18.50	3.56
<b>Lavandería</b>	5	2965	13.25	1.15
<b>Nupciales</b>	8	2958	11.23	1.31
<b>Spa</b>	14	2961	15.53	2.90

*Nota.* Parámetros iniciales obtenidos de acuerdo con el cálculo previo de cada edificación. El número de nodo correspondiente a la asignación prevista que puede ser visualizada en la Figura 9, las cotas terreno fueron tomadas en campo con el debido equipo especializado para tal fin, la altura en metros columna de agua requerida para cada edificación fue seleccionada de acuerdo con el valor menos favorable de los trazos de redes internas hallados en la Tabla 17 y el caudal máximo probable calculado anteriormente que está directamente vinculado con el tramo de cada edificación.

**4.3.2.2.2** En la Tabla 19 se presenta el cálculo de caudales, diámetros y velocidades para la red externa, tomando como base los parámetros iniciales reunidos en la Tabla 18 y la longitud correspondiente de cada tramo medida en campo.

**Tabla 19.** Caudal, diámetro y velocidad en los tramos de la red externa

Nodo	Cota tubería H <sub>tub</sub> +2900 (msnm)	Tramo	Longitud L (m)	Caudal Diseño Q <sub>d</sub> (lps)	Diámetro D (in)	Diámetro efectivo D <sub>e</sub> (m)	Velocidad V (m/s)
0	77						
1	72	1-0	25.0	<b>22.92</b>	6	0.1522	1.26
2	69	1-2	38.0	9.10	4	0.1034	1.08
3	67	2-3	26.0	4.86	2 1/2	0.0661	1.42
4	64.5	2-4	68.0	4.24	2 1/2	0.0661	1.24
5	64	4-5	9.0	1.15	1	0.0302	1.61
6	59.5	4-6	66.0	3.09	2 1/2	0.0661	0.90
7	59	6-7	5.0	1.78	1 1/4	0.0381	1.56
8	57	6-8	23.0	1.31	1 1/4	0.0381	1.15
9	70	1-9	112.0	13.82	6	0.1522	0.76
10	69	9-10	5.5	4.89	2 1/2	0.0661	1.43
11	61	9-11	110.0	8.93	4	0.1034	1.06
12	62	11-12	40.0	2.47	2	0.0546	1.06
13	60	11-13	10.0	6.46	3	0.0804	1.27
14	60	13-14	3.0	2.90	2	0.0546	1.24
15	59	13-15	30.5	3.56	2	0.0546	1.52

*Nota.* Determinación de caudales, velocidades y diámetros. La cota de la tubería se encuentra a un metro (1m) de profundidad por requerimientos de [8], Q<sub>d</sub> es el caudal de diseño solicitado en la acometida de cada edificación, los diámetros hallados a partir de la ecuación de continuidad, aproximando de acuerdo con los valores comerciales de tubería en PVC [23] y estableciendo una velocidad de diseño de 2 m/s de acuerdo con la norma Icontec 1500 en [7] y la velocidad real recalculada a partir de la ecuación de continuidad  $V=Q/A$  y conservando las respectivas recomendaciones dadas por Rodríguez en [3].

**4.3.2.3 Cálculo de pérdidas por accesorios y fricción en la red externa.** En la Tabla 20 y Tabla 21 se presentan los respectivos resultados dados por el cálculo de las pérdidas locales y por fricción respectivamente. Para las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación deducida por

Rodríguez en [3] obtenida para tubería PVC y la pérdida por accesorios fue calculada mediante el uso de la tabla de longitudes equivalentes presentadas en [3].

**Tabla 20.** *Pérdidas locales en red externa*

Tramo	Diámetro	Accesorio	Factor de fricción	Long. Equiv. En diámetros	Coefficiente resistencia	Pérdida accesorios
	D (in)		fT	Le/D	K	hl (m)
<b>1-0</b>	6	Tee 6"	0.015	120	1.800	0.1461
<b>1-2</b>	4	Red. 6" a 4"	0.017		0.200	0.0120
	4	Sc 45° 4"	0.017	16	0.272	0.0163
	4	Tee 4"	0.017	120	2.040	0.1225
<b>2-3</b>	2 1/2	Red.4"a 2.5"	0.018		0.250	0.0257
	2 1/2	Sc 45° 2.5"	0.018	16	0.288	0.0296
	2 1/2	Codo 2.5"	0.018	30	0.540	0.0555
<b>2-4</b>	2 1/2	Red.4"a 2.5"	0.018		0.250	0.0196
	2 1/2	Sc 45° 2.5"	0.018	16	0.288	0.0225
	2 1/2	Tee 2.5"	0.018	120	2.160	0.1690
<b>4-5</b>	2	Red. 2.5" a 2"	0.019		0.080	0.0106
	1	Red. 2" a 1"	0.023		0.340	0.0448
	1	Sc 45° 1"	0.023	16	0.368	0.0485
<b>4-6</b>	2 1/2	Sc 45° 2.5"	0.018	16	0.288	0.0120
	2 1/2	Tee 2.5"	0.018	120	2.160	0.0898
<b>6-7</b>	1 1/2	Red.2.5a1.5"	0.021		0.220	0.0273
	1 1/4	Red.1.5a1.25"	0.022		0.060	0.0075
<b>6-8</b>	1 1/2	Red.2.5a1.5"	0.021		0.220	0.0148
	1 1/4	Red.1.5a1.25"	0.022		0.050	0.0034
	1 1/4	Sc 45° 1.25"	0.022	16	0.352	0.0237
<b>1-9</b>	6	Codo 6"	0.015	30	0.450	0.0133
	6	Codo 6"	0.015	30	0.450	0.0133
	6	Tee 6"	0.015	120	1.800	0.0531
<b>9-10</b>	4	Red. 6" a 4"	0.017		0.200	0.0208
	2 1/2	Red. 4" a 2.5"	0.018		0.250	0.0260
<b>9-11</b>	4	Red. 6" a 4"	0.017		0.200	0.0116

**Tabla 20 (continuación).** *Pérdidas locales en red externa*

Tramo	Diámetro	Accesorio	Factor de fricción	Long. Equiv. En diámetros	Coefficiente resistencia	Pérdida accesorios
	D (in)		fT	Le/D	K	hl (m)
	4	Sc 45° 4"	0.017	16	0.272	0.0157
	4	Codo 4"	0.017	30	0.510	0.0295
	4	Tee 4"	0.017	120	2.040	0.1180
<b>11-12</b>	2	Red. 4" a 2"	0.019		0.350	0.0200
	2	Codo 2"	0.019	30	0.570	0.0325
<b>11-13</b>	3	Red. 4" a 3"	0.018		0.120	0.0099
	3	Tee 3"	0.018	120	2.160	0.1788
<b>13-14</b>	2	Red. 3" a 2"	0.019		0.200	0.0157
<b>13-15</b>	2	Red. 3" a 2"	0.019		0.200	0.0237
	2	Sc 45° 2"	0.019	16	0.304	0.0360

**Tabla 21.** *Totalización de pérdidas en red externa*

Nodo	Cota tubería +2900m	Tramo	Longitud	Pérdida fricción	Pérdida accesorios	Σ pérdidas
	H <sub>tub</sub> (msnm)		L (m)	hf (m)	hl (m)	hf + hl (m)
<b>0</b>	77					
<b>1</b>	72	1-0	25.0	0.2334	0.1461	0.3795
<b>2</b>	69	1-2	38.0	0.4325	0.1508	0.5834
<b>3</b>	67	2-3	26.0	0.8236	0.1108	0.9345
<b>4</b>	64.5	2-4	68.0	1.6872	0.2111	1.8984
<b>5</b>	64	4-5	9.0	0.9187	0.1039	1.0226
<b>6</b>	59.5	4-6	66.0	0.9295	0.1017	1.0313
<b>7</b>	59	6-7	5.0	0.3647	0.0348	0.3995
<b>8</b>	57	6-8	23.0	0.9690	0.0418	1.0109
<b>9</b>	70	1-9	112.0	0.4229	0.0797	0.5025
<b>10</b>	69	9-10	5.5	0.1762	0.0468	0.2230
<b>11</b>	61	9-11	110.0	1.2105	0.1747	1.3853
<b>12</b>	62	11-12	40.0	0.9421	0.0525	0.9946
<b>13</b>	60	11-13	10.0	0.2056	0.1887	0.3943
<b>14</b>	60	13-14	3.0	0.0942	0.0157	0.1099
<b>15</b>	59	13-15	30.5	1.3820	0.0597	1.4417

*Nota.* Sumatoria de pérdidas en la red externa abierta.

**4.3.2.4 Cálculo de altura piezométrica y carga dinámica total.** En la Tabla 22 a partir de la ecuación de energía se presenta el resultado del cálculo de la carga dinámica disponible para cada tramo. El valor resaltado en rojo es referido a la presión en metros columna de agua (m.c.a.) necesaria para obtener el comportamiento señalado en el sistema de distribución del complejo.

**Tabla 22.** *Altura piezométrica y carga dinámica total en la red externa*

Nodo	Cota tubería +2900msnm	Tramo	$\Sigma$ pérdidas	Altura piezométrica +2900m	Carga dinámica total
	H <sub>tub</sub> (msnm)		hf + hl (m)	H <sub>piez</sub> (m)	H <sub>dt</sub> (m)
<b>0</b>	77			85.4651	<b>8.47</b>
<b>1</b>	72	1-0	0.3795	85.0855	13.09
<b>2</b>	69	1-2	0.5834	84.5022	15.50
<b>3</b>	67	2-3	0.9345	83.5677	16.57
<b>4</b>	64.5	2-4	1.8984	82.6038	18.10
<b>5</b>	64	4-5	1.0226	81.5812	17.58
<b>6</b>	59.5	4-6	1.0313	81.5725	22.07
<b>7</b>	59	6-7	0.3995	81.1731	22.17
<b>8</b>	57	6-8	1.0109	80.5616	23.56
<b>9</b>	70	1-9	0.5025	84.5830	14.58
<b>10</b>	69	9-10	0.2230	84.36	15.36
<b>11</b>	61	9-11	1.3853	83.1978	22.20
<b>12</b>	62	11-12	0.9946	82.2032	20.20
<b>13</b>	60	11-13	0.3943	82.8034	22.80
<b>14</b>	60	13-14	0.1099	82.6935	22.69
<b>15</b>	59	13-15	1.4417	81.3617	22.36

*Nota.* Carga dinámica disponible calculada a partir de la ecuación de energía.

### 4.3.3 Cálculo del sistema de bombeo

Debido a que el consumo no es constante, por comodidad y economía se fraccionó el funcionamiento del sistema en tres (3) bombas con su respectivo tanque, teniendo en cuenta que la totalidad sucede solo cuando exista el consumo pico y que las bombas trabajen sustrayendo o adicionando caudal en concordancia con las solicitudes del complejo. Se determinó la potencia de la bomba y el volumen necesario recopilando los resultados en la Tabla 23.

**Tabla 23.** Cálculo del sistema de bombeo

Parámetro	Resultado	Descripción
Potencia de la bomba	$P_{bomba} = 3.69HP \cong 3.75HP$	Aproximación en cuartos de caballo de potencia para selección comercial
Presión máxima absoluta	$P_1 = 34.07psi$	Volumen de aire recomendable
Número de ciclos de arranque	$N = 33.33ciclos/min$	El tiempo de arranques a 1.8 minutos para bombas entre 3 y 5 HP
Volumen útil del tanque	$V = 1547litros = 1.55m^3$	El sistema de tanque hidroneumático representa un volumen útil de 80%, $K=0.8$

Nota. Procedimiento realizado de acuerdo con Rodríguez en [3].

Posteriormente se eligió la marca comúnmente utilizada en Colombia “EVANS” con tanques de referencia “EQTHD-450V” para cubrir la capacidad en  $m^3$  de volumen ( $0.59m^3$  c/u), por lo tanto  $V = 1.77m^3$  capacidad que cubre la necesidad solicitada por la red del complejo. El detalle de las dimensiones de los tanques es mostrado en la Figura 10 tomada del catálogo de [27]:

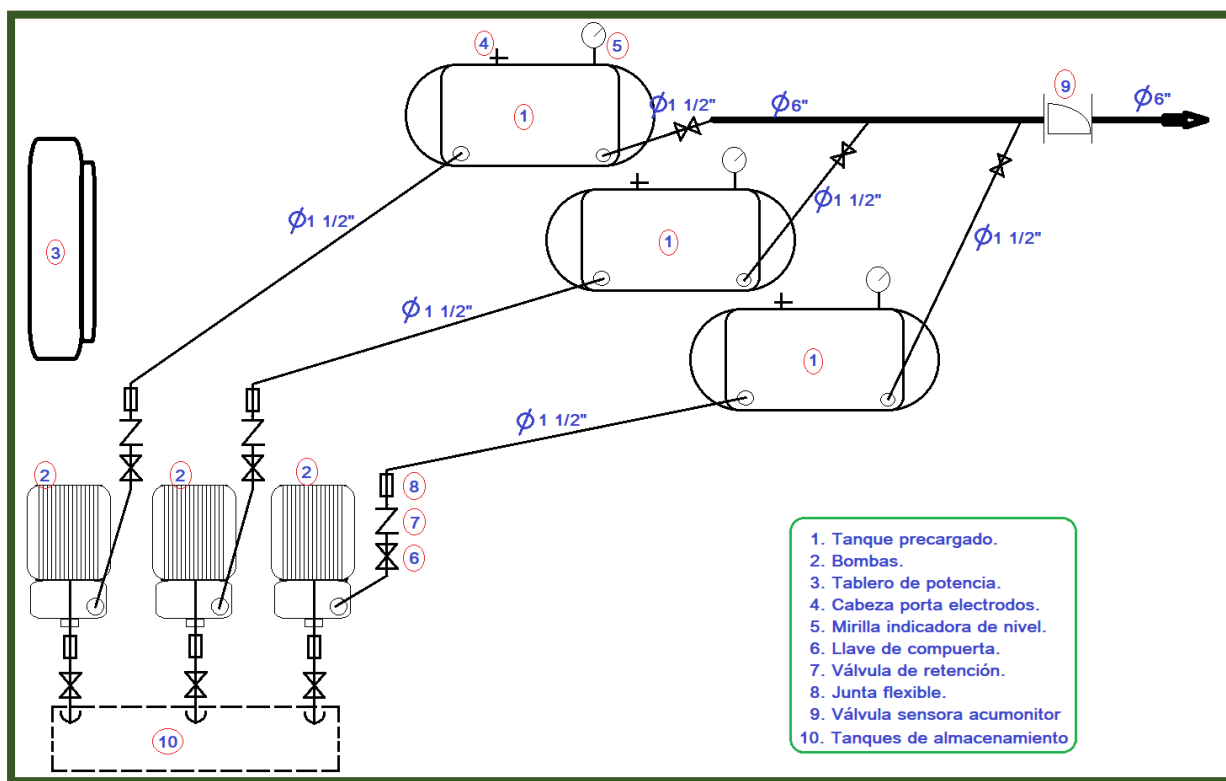
**Figura 10.** Especificaciones de tanques con membrana de tipo Hidroneumático “EVANS”

MODELO	TIPO	TABLA DE DIMENSIONES CM				DIMENSIONES DE EMPAQUE CM				
		A	B	ØC NPT	D	PESO KG	VOLÚMEN M3.	LARGO	ANCHO	ALTO
*EQTHD-003LE	Lineal	21.5	13	1”M	-	2	0.06	57	43	23
EQTHD-018HE	Horiz.	30	40	1”M	15	5	0.04	40.0	30	32.5
EQTHD-076VP	Vertical	79	38	1”H	30	13	0.14	41.0	41.0	81.0
EQTHD-126V	Vertical	109	41	1”H	32	23.8	0.20	42.0	42.0	112.0
EQTHD-167V	Vertical	93	53	1¼” H	43	30.0	0.29	54.5	54.5	98.0
EQTHD-235V	Vertical	120	53	1¼” H	43	41.8	0.37	54.5	54.5	125.0
EQTHD-306V	Vertical	149	53	1¼” H	43	45.9	0.46	54.5	54.5	153.5
EQTHD-450V	Vertical	152	66	1¼” H	53	72.4	0.59	69.0	54.5	158.0



El respectivo esquema de conexión queda indicado en la Figura 11 de la siguiente forma, teniendo en cuenta que puede ser utilizada alguna otra marca aparte de “EVANS”, pero manteniendo las mismas especificaciones halladas antes, igualmente se muestran las interconexiones de los aditamentos de control como lo son el tablero de potencia, manómetro, llave de compuerta, válvula cheque, junta flexible y válvula sensor acu monitor:

**Figura 11.** Esquema de elaboración propia de conexión para bombeo Hidroneumático



#### 4.3.4 Planos de la red de distribución de agua potable

En el apéndice E se presenta un consolidado de imágenes obtenidas mediante el modelado en software de Autodesk de todas las edificaciones con sus respectivos diseños aplicados de acuerdo con lo hallado en este documento junto con la toma de una fotografía de la respectiva edificación. Los planos a detalle del trazado de redes internas y externas obtenidos se encuentran listados en los apéndices C y D respectivamente.

## 5. Discusión

Con el desarrollo de este proyecto se espera el aumento de la capacidad de organización y productividad de la empresa Villa Campestre Bosques de Florencia para responder a las necesidades en materia de esparcimiento social, el cuidado del medio ambiente con el debido aprovechamiento del recurso agua y que esta compañía de eventos sociales pueda cumplir con las políticas públicas sin incurrir en posibles sanciones; por ello se desea que con la labor realizada sea posible en un futuro obtener un sistema de tratamiento de agua apta para su consumo y un sistema de distribución óptimo para cada punto del complejo que satisfaga las necesidades de la empresa durante su labor.

En los años 2000 en el municipio del Peñol (Nariño) la administración solicitó el diseño de una planta de tratamiento, seleccionando la tecnología de filtración en múltiples etapas FIME para abastecer la cabecera municipal y varias veredas del mismo municipio, ya que únicamente se contaba con un sistema de desinfección por inyección de cloro gaseoso a un tanque de almacenamiento sin ningún sistema de pretratamiento, por lo cual en épocas de invierno la red de distribución afrontaba el deterioro en la calidad del agua [28].

Es por estas razones que se indaga en una participación de forma activa en el desarrollo y gestión del municipio, se aboga por el tipo de ciudad que en consideración se necesita y al desarrollar una visión del futuro para las edificaciones, vecindarios y áreas rurales, se actúa conforme a la misma respetando las leyes o políticas ambientales y usos de suelo para actividades de ámbito social.

Sánchez en su investigación en [29] destaca que las tecnologías de tratamiento de agua que mejores resultados obtuvieron dentro de las diferentes configuraciones de tratamiento fueron las FGD<sub>i</sub>+FGAS<sub>2</sub> (Filtro grueso dinámico y filtro grueso ascendente en capas) y FGD<sub>i</sub>+FGAC+FLA (Filtro grueso dinámico más filtro grueso ascendente en capas y filtro lento de arena) en donde su

objetivo principal pretendía estudiar el impacto de la calidad de agua en la uniformidad de aplicación del caudal vertido por emisores.

Es muy importante que se pueda disponer de este estudio y se apliquen los diseños respectivos como una referencia para toda la comunidad subyacente, de manera que el modelo sea replicado y complementado con otros estudios en la zona, para de este modo contribuir con el debido manejo del recurso hídrico y así entrar en consonancia con el cuidado del ambiente.

Igualmente, Vega en su artículo [30] confirma en su investigación de evaluación del sistema de filtración en múltiples etapas FIME en tanques plásticos, que la remoción máxima obtenida de turbiedad en el sistema de Majavita fue de un 99% y de coliformes fecales un promedio de 96.5%, logrando turbiedades promedio de 2 UNT y color aparente de 8.6 UPC sin el uso de desinfectantes, con lo cual ,se reafirma que el sistema evaluado bajo sus condiciones específicas de operación es apto para el tratamiento adecuado del agua para consumo humano.

Adicional, si se llegare a realizar la implementación de los diseños acá expuestos, debe considerarse que a pesar del tratamiento que se le da al recurso hídrico, éste puede contaminarse tanto en la misma fuente como en la red de distribución y especialmente en los depósitos de almacenamiento, por lo tanto, éstos deben permanecer cubiertos y contar con un mantenimiento periódico con el cual se permita asegurar la eficiencia del sistema.

## 6. Conclusiones

El diagnóstico del estado actual del agua que se consume en el complejo Villa Campestre Bosques de Florencia objeto de este estudio es desfavorable, ya que se permitió identificar falencias en cuanto a la calidad (valores de turbiedad, coliformes totales y termo tolerantes obtenidos en la Figura 2), cantidad y continuidad, que deben ser intervenidas con especial prioridad en el sistema para el tratamiento del agua potable, porque se configura como un riesgo para la población que recurrentemente acude a dichas instalaciones sin percatarse de los problemas en salud que podrían adquirir.

Los parámetros tenidos en cuenta para el diseño del sistema de tratamiento fueron la turbiedad (15.43 UNT), el hierro (1.96 mg/L Fe) que, a pesar de estar dentro del rango permitido (2 mg/L Fe), si se encontraba muy cercano al límite-, las coliformes totales y las coliformes termo tolerantes (31 NMP/100 mL) cada una, permitiendo señalar que el prototipo de la planta de tratamiento puede ser implementado con completa confianza en la totalidad de sus unidades mencionadas en el documento, ya que la norma expresada en el RAS en [8] y [9] confirma que son sistemas ampliamente testeados y comprobados con el cual se puede lograr que la fuente cumpla con los requisitos básicos de calidad de agua no sin ello descuidar los exámenes periódicos y mantenimientos propios del sistema.

El sistema de tratamiento fue diseñado para funcionar por medio de la acción de gravedad lo cual radica en una ayuda económica para la organización y reduciendo el impacto ambiental con la disminución del uso de energía, por lo que se mejora el nivel de vida de la comunidad vecina y asistente al complejo en el sentido de que el recurso hídrico sería aprovechado en consonancia con el ambiente incluso con su capacidad de funcionamiento continuo durante las 24 horas del día.

Después de finiquitar los estudios pertinentes y realizar las respectivas inspecciones se puede denotar que el sistema de distribución se encuentra en condiciones deficientes, debido a que

en la mayoría de los puntos por su uso intermitente las tuberías presentan obstrucción dada por los sedimentos depositados por el agua sin un tratamiento previo y haciendo evidente que los problemas por desabastecimiento sean cada vez más inevitables. Igualmente, el tanque de almacenamiento utilizado para abastecer el complejo se encuentra desatendido por completo y en donde periódicamente señalan que le aplican al agua mezclas de hipoclorito de sodio o de calcio como método de desinfección y encontrando a su vez que posee gran cantidad de sedimento depositado por el agua en la base del mismo; esta práctica se sabe que en algunos casos podría generar la presencia de trihalometanos que son unos subproductos de la desinfección riesgosos para la salud humana, por tal motivo se hace contundente la aplicación de los estudios acá propuestos con el objeto de generar la certeza y seguridad en la actividad económica del complejo.

Con respecto al sistema de distribución diseñado, se puede concluir que los valores presentados en la Tabla 17 cumplen con los requisitos mínimos dados por la Resolución 0330 de 2017 Art. 61 y 62 en [8] en cuanto a la presión dinámica, siendo consecuente y estando dentro de los mismos rangos asegurados por el sistema de bombeo hidroneumático.

Se recalca que las tuberías tanto internas de cada edificación así como las tuberías externas de la red de distribución, fueron diseñadas trazando en la mayoría de casos la misma ruta utilizada previamente y que actualmente se encuentra instalada en el complejo, con el objeto ser lo menos invasivo posible en caso de que se requiera hacer la debida corrección en campo; por otro lado, se pudo encontrar que en la red externa muchas de las conexiones están prácticamente sobre el terreno y que ésta situación ha acarreado en pérdidas del recurso hídrico de forma constante, por lo que el trazado diseñado además de conservar la misma ruta, también fue calculado para cumplir con el requisito mínimo exigido por la Resolución 0330 de 2017 Art. 60 en [8] de profundidad en la instalación para zona rural, de manera que pueda ser fácilmente subsanable por la organización y acarree un menor costo económico para su correcto funcionamiento.

### Referencias

- [1] Saldarriaga, J. G., Serna Rodríguez, M. A., González Candia, M. F., Alzate Hoyos, J. A., Herrera Arciniegas, J. C., Perafán, M., Acosta, M. R., Gutiérrez Hinojosa, X., Garzón Mazuera, J., Ochoa, M. del P., Quirós Garzón, C., Correa U., G. F., Fernández P., L. A., Peláez V., M., Ramírez C., C. M., Ochoa P., S., Eusse, G., Peláez V., M., Wilches Y., S., Longas S., O. D.,... Palacio, C. P. (2009). Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de EPM. Empresas Públicas de Medellín E. S. P y la Universidad de los Andes, Colombia.
- [2] López Cualla, R. A. (2003). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Editorial: Escuela Colombiana de Ingeniería, Segunda edición, Bogotá.
- [3] Rodríguez Díaz, H. A. (2005). Diseños hidráulicos, sanitarios y de gas en edificios. Editorial: Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.
- [4] Mott, R. L. y Untener, J. A. (2015). Mecanica de Fluidos 7/ed. Pearson educación, Inc., publicado como Prentice Hall, México.
- [5] Santos, J. M., Ambiente, M. D., & Sostenible, D. (2015). Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- [6] Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Resolución 2115 de 2007.
- [7] Norma Técnica Colombiana: NTC 1500 (2017). Código Colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias. Bogotá, DC.
- [8] Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2017). Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Resolución 0330 de 2017.

- [9] De Agua, R. T. D. S. (2000). Potable y Saneamiento Básico Ras–2000. Título C, Sistemas de Potabilización.
- [10] Organización Mundial de la Salud. (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano. 4ª edición que incorpora la primera adenda. Ginebra
- [11] Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt – IAvH. 2009. Estimación de un conjunto de indicadores que aporten a un programa de monitoreo de la biodiversidad, a nivel de ecosistemas, en la jurisdicción de la CAR. Convenio 07-548 Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt IAvH – Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. Informe final de Resultados. Bogotá.
- [12] Naciones Unidas. (2020). Los desafíos del agua | Naciones Unidas. Recuperado 2 de mayo de 2022, de <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- [13] De Tunja, A. (2013). Nuestro municipio. Recuperado de: [http://www.tunjaboyaca.gov.co/informacion\\_general.shtml#geografia](http://www.tunjaboyaca.gov.co/informacion_general.shtml#geografia).
- [14] BECK, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific data*, 5, 180214.
- [15] De Tunja, A. M. (2008). Plan de Ordenamiento Territorial (POT). Tunja: Alcaldía Mayor de Tunja, 520.
- [16] Organización Mundial de la Salud. (2011). Guías para la calidad del agua potable. 4/ed. Ginebra
- [17] CAMINATI, Alessandra y CAQUI, Catherine. Análisis y diseño de sistemas de tratamiento de agua para consumo humano y su distribución en la Universidad de Piura. Tesis (Título en ingeniería civil). Piura: Universidad de Piura, (2013). Disponible en: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1738/ING\\_526.pdf?sequen ce=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1738/ING_526.pdf?sequen ce=1)

- [18] Agüero Pittman, R. (1997). Agua potable para poblaciones rurales. Sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento, Editorial SER, Lima.
- [19] Salud, O. P. (2005). Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas. Lima: UNATSABAR.
- [20] Pérez de Caso L., E. (2002). Las Preguntas Más Frecuentes Sobre Equipos Purificadores De Agua Por Medio De Luz Ultravioleta. Agua Latinoamérica. México.
- [21] Wright, H., & Cairns, W. (1998, October). Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta. Trabajo presentado en los Anales Simposio OPS: Calidad de agua, Desinfección efectiva.
- [22] Méndez, M. V. (2007). Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua. Universidad Católica Andrés.
- [23] Manuales Técnicos Infraestructura y Predial. (2021). PAVCO. Revisado: 13 junio 2021, tomado de: <https://pavcowavin.com.co/manuales-tecnicos>.
- [24] King, H. W. (1918). Handbook of hydraulics for the solution of hydraulic problems. McGraw-Hill Book Company, Incorporated.
- [25] Equipos de Desinfección Ultravioleta de Agua. (2021). SYNERTECH Water Technologies. Revisado: 20 junio 2021, tomado de: <https://www.nyfdecolombia.com/uv/uv-water>.
- [26] Google. (s.f.). [Villa Campestre Bosques de Florencia]. Recuperado el 21 de marzo de 2020 de <https://www.google.com.co/maps/place/Villa+Campestre+Bosques+de+Florencia/@5.5444944,73.4024692,17z/data=!3m1!4m5!3m4!1s0x8e6a7c2d9898fff5:0x8026d0f029953ca3!8m2!3d5.5444891!4d-73.4002805?hl=es-419&authuser=0>
- [27] Tanques y Equipos Hidroneumáticos Para Sistemas de Presión. (2021). EVANS Colombia. Revisado: 20 junio 2021, tomado de: <https://www.evans.com.co/categoria-producto/hidroneumaticos/equipos-hidroneumaticos/tanques-hidroneumaticos/>.

- [28] Guerra, B., & Coordinador, Z. (s/f). Plan desarrollo “El Peñol somos todos” 2005 -2007 alcaldía municipal Ángel Eduardo Ordoñez Apraez alcalde municipal. Recuperado el 19 de febrero de 2022, de: <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/10994/5935-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [29] Sánchez, L. D., Latorre, J., & Valencia-Zuluaga, V. (2009). Mejoramiento de la calidad del agua de riego por filtración en múltiples etapas (FiME). *Agronomía Colombiana*, 27(3), 407-415.
- [30] Vega Serrano, H. A. (2013). Evaluación del sistema de filtración en múltiples etapas FiME en tanques plásticos con pre-sedimentación y retro-lavado en la Hacienda Majavita (Socorro, Santander).

**Apéndices**

**Apéndice A. Registros fotográficos**

Presiones en puntos sanitarios:



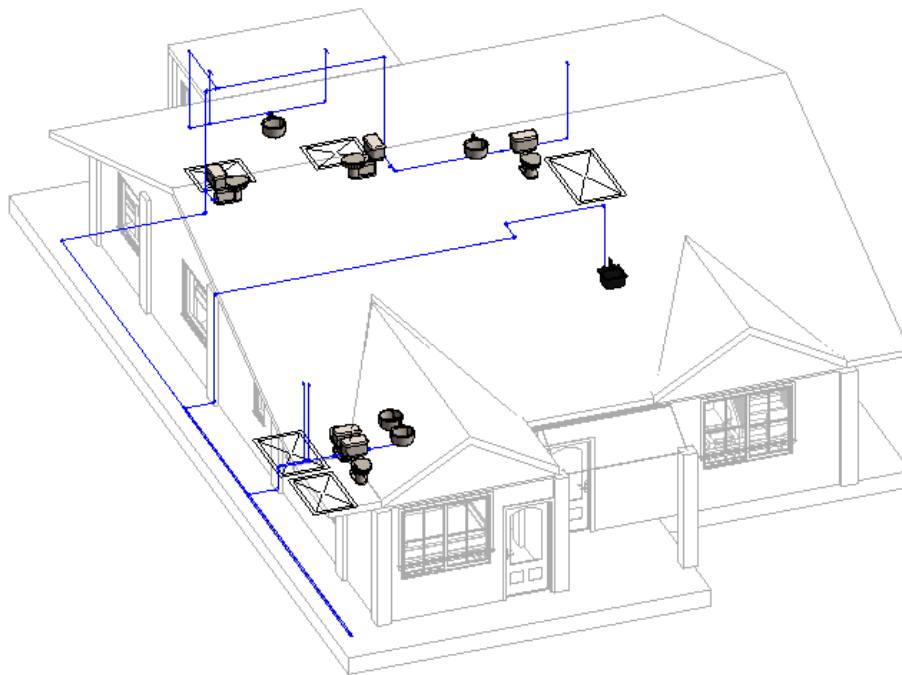
Tuberías y conexiones de tramos externos:



**Apéndice E. Renderizados y fotografías**



*Fotografía de edificación Cabaña*



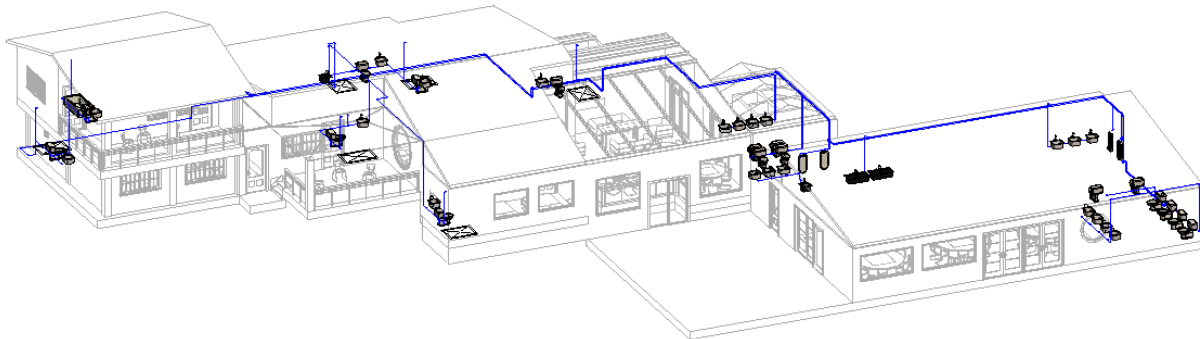
*Vista Isométrica de redes internas en edificación Cabaña*



*Vista 3D de edificación Ensueño elaborada en software de Autodesk*



*Fotografía de edificación Ensueño*



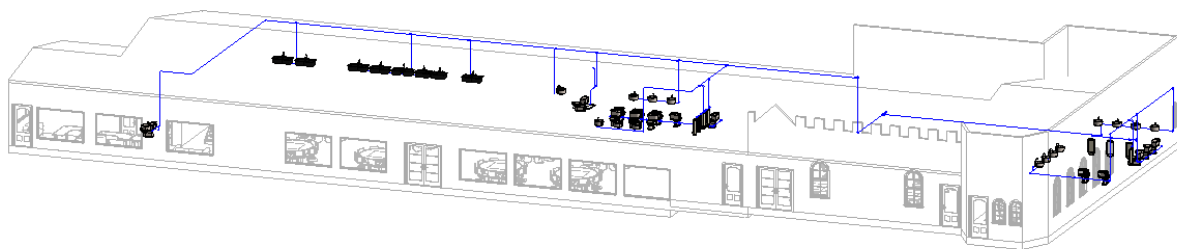
*Vista Isométrica de redes internas en edificación Ensueño*



*Vista 3D de edificación Fantasía elaborada en software de Autodesk*



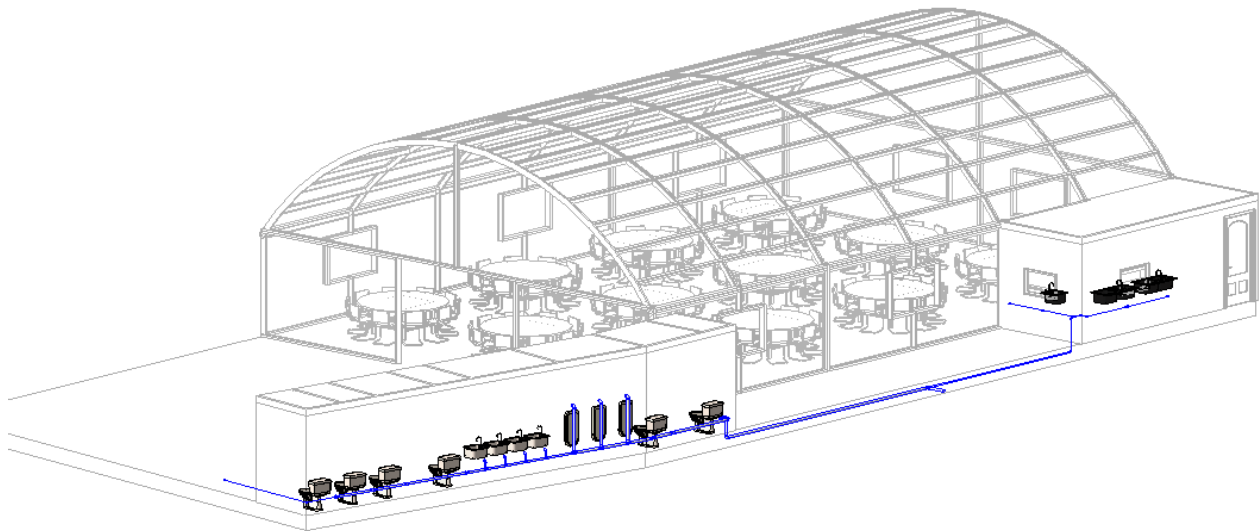
*Fotografía de edificación Fantasía*



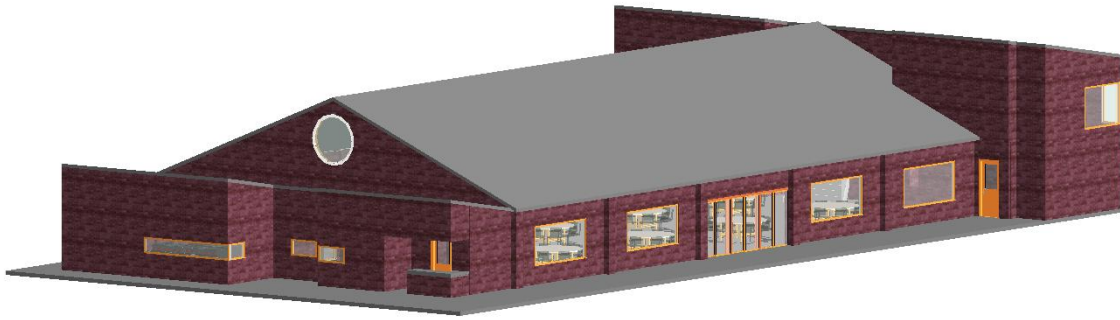
*Vista Isométrica con redes internas de edificación Fantasía*



*Fotografía de edificación Hangar*



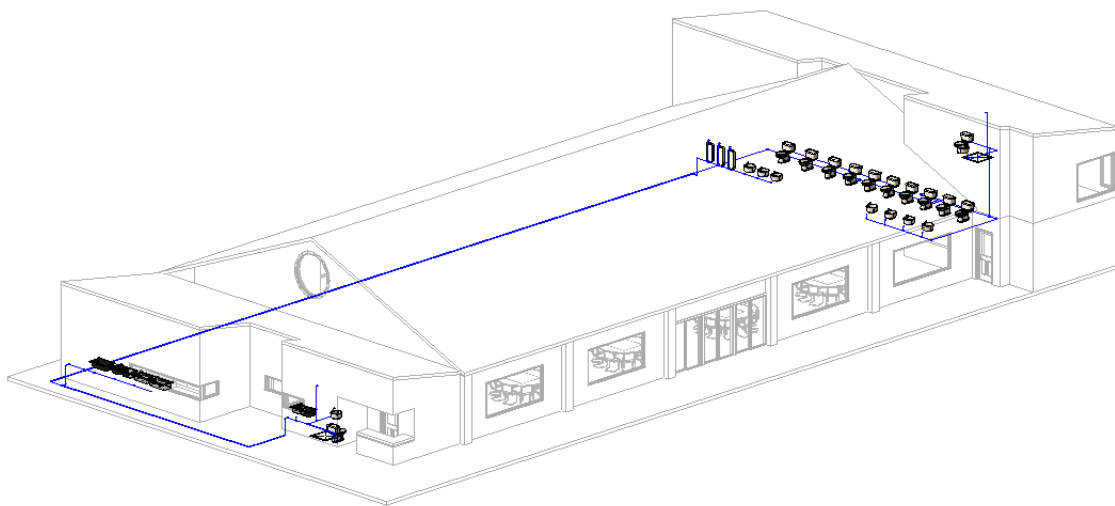
*Vista Isométrica de redes internas en edificación Hangar*



*Vista 3D de edificación Ilusión elaborada en software de Autodesk*



*Fotografía de edificación Ilusión*



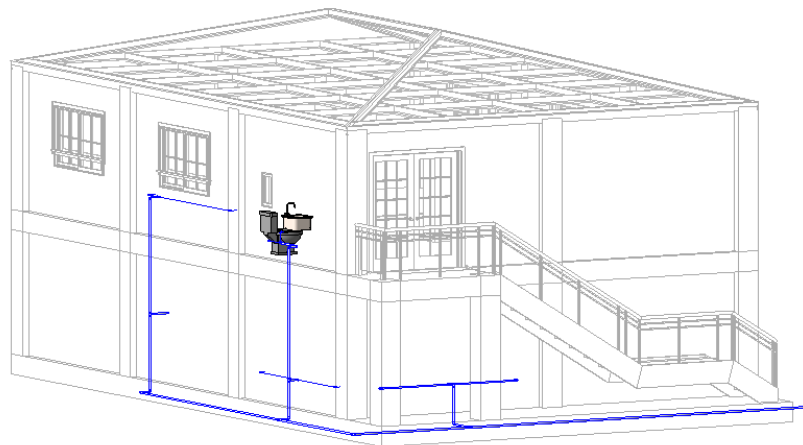
*Vista Isométrica de redes internas en edificación Ilusión*



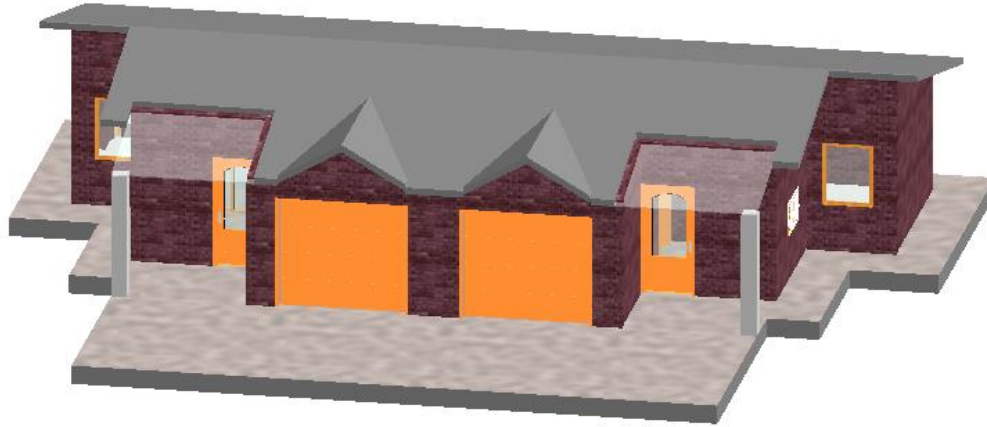
*Vista 3D de edificación Lavandería elaborada en software de Autodesk*



*Fotografía de edificación Lavandería*



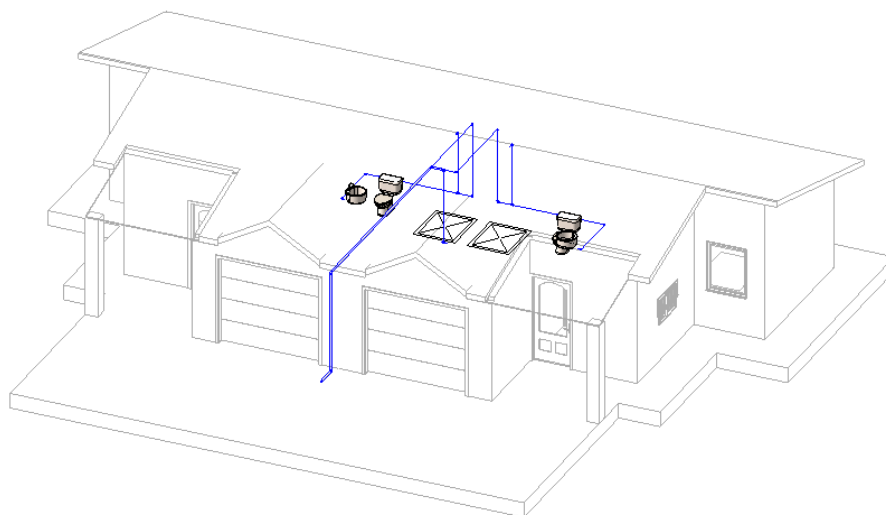
*Vista Isométrica de redes internas en edificación Lavandería*



*Vista 3D de edificación Nupciales elaborada en software de Autodesk*



*Fotografía de edificación Nupciales*



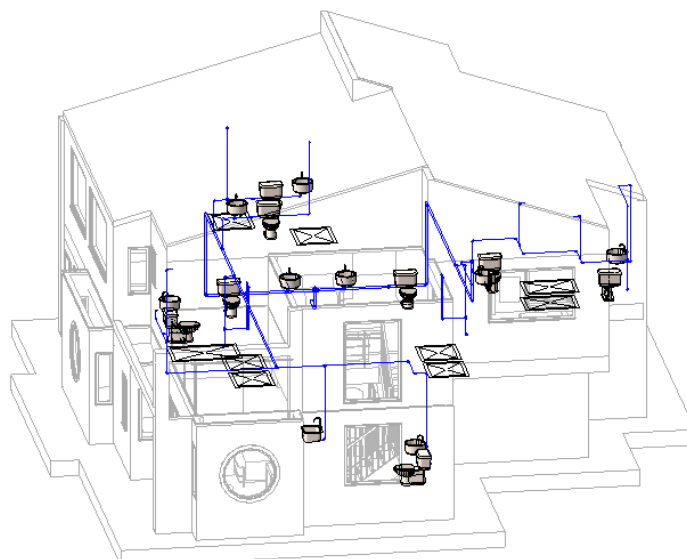
*Vista Isométrica de redes internas en edificación Nupciales*



*Vista 3D de edificación SPA elaborada en software de Autodesk*



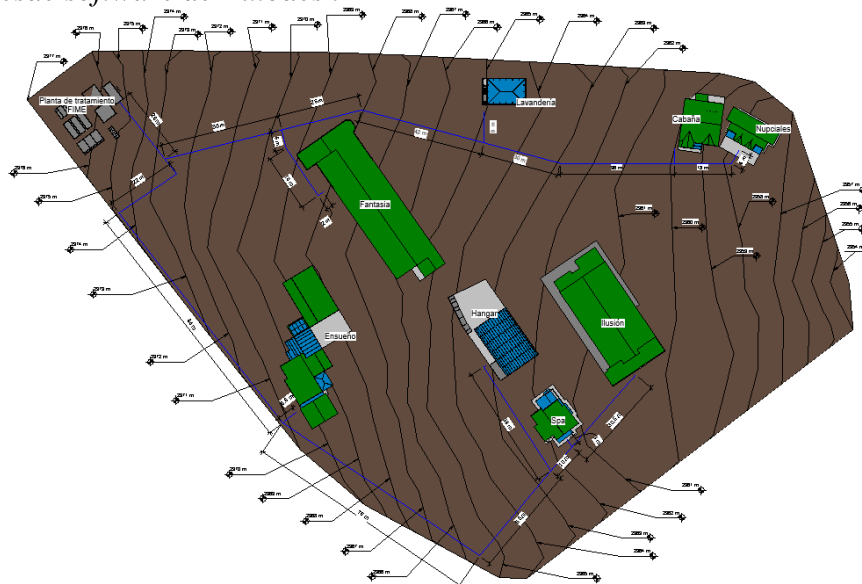
*Fotografía de edificación SPA*



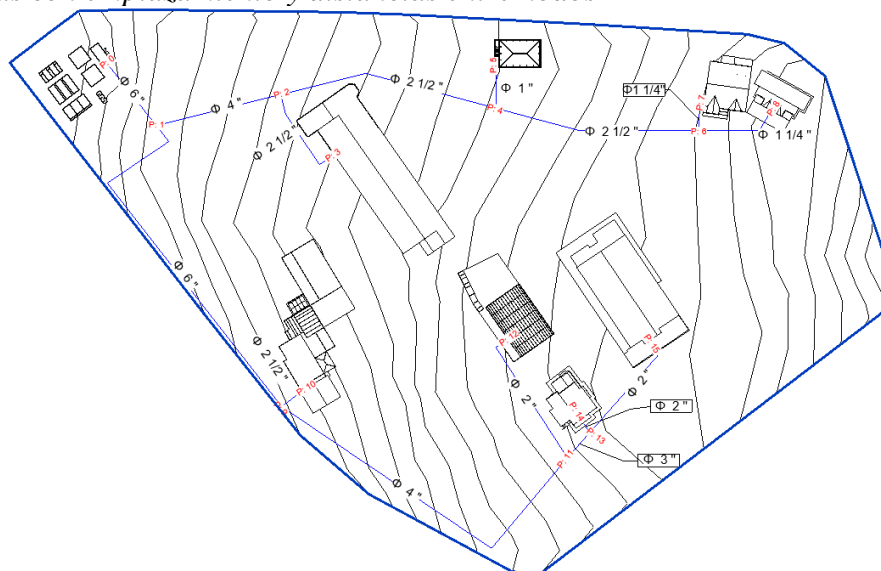
*Vista Isométrica de redes internas en edificación SPA*



*Fotografía de Google del complejo con emplazamiento y levantamiento de edificaciones sobrepuestas desde software de Autodesk*



*Redes externas con emplazamiento y distancias entre nodos*



*Vista en planta de redes externas con diámetros respectivos*

**Apéndice F.** *Tablas anexas referentes al procedimiento***Tabla 24.** *Registros de población flotante que concurre a las instalaciones*

<b># Semana</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
<b>1</b>	26	31	24	26	35
<b>2</b>	31	45	25	12	28
<b>3</b>	1196	569	88	1009	205
<b>4</b>	1152	23	939	782	492
<b>5</b>	1242	413	1372	619	390
<b>6</b>	719	464	441	612	1344
<b>7</b>	941	266	776	977	1239
<b>8</b>	258	975	573	183	1136
<b>9</b>	557	928	817	734	1330
<b>10</b>	990	333	647	230	453
<b>11</b>	969	1397	845	819	434
<b>12</b>	689	1003	326	276	375
<b>13</b>	1341	117	1388	192	1164
<b>14</b>	804	929	299	113	254
<b>15</b>	611	1268	945	1094	1362
<b>16</b>	1173	25	672	1211	496
<b>17</b>	1099	1073	322	666	420
<b>18</b>	1204	398	830	1348	263
<b>19</b>	619	1390	301	659	913
<b>20</b>	798	172	513	252	72
<b>21</b>	680	1111	508	43	599
<b>22</b>	647	275	261	70	1285
<b>23</b>	251	932	45	850	254
<b>24</b>	1101	1262	95	593	690
<b>25</b>	575	1152	1294	632	408
<b>26</b>	1172	1360	1246	506	334
<b>27</b>	946	1109	311	342	1363
<b>28</b>	944	622	90	1177	656
<b>29</b>	275	1231	1010	1110	1137
<b>30</b>	250	1310	1272	706	698
<b>31</b>	557	671	306	469	708
<b>32</b>	654	1147	777	235	1242
<b>33</b>	1007	1307	1000	320	614
<b>34</b>	117	312	1260	207	175
<b>35</b>	619	31	1222	106	1132
<b>36</b>	362	470	398	204	646
<b>37</b>	86	621	957	1366	1053
<b>38</b>	483	1101	252	853	842

**Tabla 24 (Continuación).** *Registros de población flotante que concurre a las instalaciones*

# Semana	2015	2016	2017	2018	2019
39	216	1141	1304	544	1082
40	588	1055	438	1322	696
41	803	403	1396	687	183
42	588	1290	789	1014	1001
43	98	148	684	431	1082
44	306	1142	247	568	1117
45	325	1070	1194	1010	349
46	234	202	629	1222	275
47	143	1378	1115	1288	1255
48	460	1380	155	545	267
49	949	1312	532	301	733
50	650	800	1028	392	552
51	985	412	316	1061	191
52	21	27	24	25	34

*Nota.* Datos proporcionados por la administración del complejo Villa Campestre

**Tabla 25.** *Caudal y presión de puntos en edificación Cabaña*

#	Etiqueta	Aparato	tiempo x 1litro	Q	Presión
	<b>Cabaña</b>		<b>s</b>	<b>l/s</b>	<b>PSI</b>
1	DCH5	Ducha	26.41	0.038	4
2	LM4	Lavamanos	26.08	0.038	4.5
3	DCH4	Ducha	25.74	0.039	4
4	DCH3	Ducha	26.03	0.038	4
5	WC5	Inodoro	26.39	0.038	3.5
6	LM3	Lavamanos	25.53	0.039	4
7	WC4	Inodoro	25.66	0.039	5
8	WC3	Inodoro	26.27	0.038	4
9	LP	Lavaplatos	26.29	0.038	3.5
10	LM1	Lavamanos	25.49	0.039	4
11	LM2	Lavamanos	25.86	0.039	4
12	WC2	Inodoro	25.87	0.039	3
13	WC1	Inodoro	26.28	0.038	3
14	DCH2	Ducha	25.45	0.039	3.5
15	DCH1	Ducha	26.09	0.038	3.5

*Nota.* Valores obtenidos en campo con manómetro de aceite, balde y cronómetro.

**Tabla 26.** Caudal y presión de puntos en edificación *Ensueño*

#	Etiqueta	Aparato	tiempo x 1litro	Q	Presión
	Ensueño		s	l/s	PSI
1	LM1	Lavamanos	23.02	0.043	4
2	LM3	Lavamanos	27.33	0.037	4
3	WC2	Inodoro	20.7	0.048	4
4	DCH2	Decape	25.8	0.039	2.5
5	WC1	Inodoro	22.71	0.044	3.5
6	DCH1	Ducha	23.34	0.043	3
7	DCH6	Ducha	22.19	0.045	3
8	WC6	Inodoro	27.38	0.037	3
9	LM6	Lavamanos	25.89	0.039	4
10	DCH5	Ducha	23.38	0.043	3
11	WC5	Inodoro	20.47	0.049	3
12	LV	Lavadora	25.98	0.038	3
13	LM5	Lavamanos	23.04	0.043	4
14	LP1	Lavaplatos	25.58	0.039	2.5
15	DCH3	Ducha	20.47	0.049	3
16	WC3	Inodoro	24.05	0.042	4
17	LM3	Lavamanos	26.14	0.038	4
18	LM4	Lavamanos	21.29	0.047	4
19	WC4	Inodoro	21.94	0.046	3
20	DCH4	Ducha	21.69	0.046	2.5
21	LM21	Lavamanos	23.22	0.043	4
22	LM20	Lavamanos	22.67	0.044	4
23	LM19	Lavamanos	21.78	0.046	4
24	LM18	Lavamanos	27.62	0.036	4
25	WC17	Inodoro	22.65	0.044	4
26	WC16	Inodoro	24.88	0.040	4
27	WC15	Inodoro	21.98	0.045	4.5
28	WC14	Inodoro	22.63	0.044	4
29	WC13	Inodoro	25.99	0.038	4
30	WC12	Inodoro	21.83	0.046	4
31	OR4	Orinal	22.12	0.045	4
32	OR3	Orinal	26.29	0.038	4.5
33	LM17	Lavamanos	23.22	0.043	3
34	LM16	Lavamanos	23.06	0.043	3
35	LM15	Lavamanos	26.28	0.038	3
36	LP4	Lavaplatos	21.14	0.047	3
37	LP3	Lavaplatos	26.79	0.037	4
38	LM14	Lavamanos	21.95	0.046	4
39	LM13	Lavamanos	23.02	0.043	4

**Tabla 26 (Continuación).** *Caudal y presión de puntos en edificación Ensueño*

#	Etiqueta	Aparato	tiempo x 1litro	Q	Presión
	Ensueño		s	l/s	PSI
40	LM12	Lavamanos	25.38	0.039	4
41	LP2	Lavaplatos	22.06	0.045	4
42	OR2	Orinal	24.06	0.042	4
43	OR1	Orinal	25.15	0.040	4
44	WC11	Inodoro	26.8	0.037	4.5
45	WC10	Inodoro	27.45	0.036	4.5
46	WC9	Inodoro	21.43	0.047	4.5
47	WC8	Inodoro	27.38	0.037	4
48	LM8	Lavamanos	20.27	0.049	3
49	LM9	Lavamanos	21.65	0.046	3
50	LM10	Lavamanos	26.08	0.038	3
51	LM11	Lavamanos	25.94	0.039	3
52	DCH7	Ducha	20.27	0.049	2.5
53	WC7	Inodoro	27.14	0.037	3
54	LM7	Lavamanos	26.34	0.038	4

*Nota.* Valores obtenidos en campo con manómetro de aceite, balde y cronómetro.

**Tabla 27.** *Caudal y presión de puntos en edificación Fantasía*

#	Etiqueta	Aparato	tiempo x 1litro	Q	Presión
	Fantasía		s	l/s	PSI
1	LM16	Lavamanos	25.78	0.039	4
2	WC15	Inodoro	28.37	0.035	5
3	LP9	Lavaplatos	26.91	0.037	4
4	LP8	Lavaplatos	28.19	0.035	4
5	LP7	Lavaplatos	26.04	0.038	4
6	LP6	Lavaplatos	25.58	0.039	4
7	LP5	Lavaplatos	25.83	0.039	4
8	LP4	Lavaplatos	28.71	0.035	4
9	LP3	Lavaplatos	29.33	0.034	4
10	LP2	Lavaplatos	27.01	0.037	4
11	LP1	Lavaplatos	27.41	0.036	4
12	LM15	Lavamanos	29.42	0.034	4
13	DCH1	Ducha	27.47	0.036	4
14	WC14	Inodoro	28.4	0.035	5
15	LM14	Lavamanos	29.3	0.034	5

**Tabla 27 (continuación).** Caudal y presión de puntos en edificación Fantasía

#	Etiqueta	Aparato	tiempo x 1litro	Q	Presión
	Fantasía		s	l/s	PSI
16	LM13	Lavamanos	29.49	0.034	5
17	LM12	Lavamanos	27.27	0.037	5
18	LM11	Lavamanos	29.27	0.034	5
19	LM10	Lavamanos	28.6	0.035	5
20	LM9	Lavamanos	28.62	0.035	5
21	OR8	Orinal	27.33	0.037	4
22	OR7	Orinal	29.32	0.034	4
23	OR6	Orinal	25.65	0.039	4
24	OR5	Orinal	29.59	0.034	4
25	WC13	Inodoro	25.89	0.039	4
26	WC12	Inodoro	26.94	0.037	4
27	WC11	Inodoro	26.37	0.038	4
28	WC10	Inodoro	26.08	0.038	4.5
29	WC9	Inodoro	27.4	0.036	4.5
30	WC8	Inodoro	28.25	0.035	4.5
31	WC7	Inodoro	26.61	0.038	4.5
32	WC6	Inodoro	29.84	0.034	4.5
33	LM1	Lavamanos	28.82	0.035	4
34	LM2	Lavamanos	25.54	0.039	4
35	LM3	Lavamanos	27.3	0.037	4
36	LM4	Lavamanos	28.57	0.035	4
37	WC1	Inodoro	27.82	0.036	5
38	WC2	Inodoro	28.31	0.035	5
39	OR1	Orinal	25.29	0.040	5
40	OR4	Orinal	26.52	0.038	5
41	OR3	Orinal	26.63	0.038	5
42	OR2	Orinal	26.8	0.037	5
43	WC5	Inodoro	26.63	0.038	4
44	WC4	Inodoro	25.49	0.039	4
45	WC3	Inodoro	26.8	0.037	4
46	LM5	Lavamanos	26.97	0.037	4
47	LM6	Lavamanos	29.27	0.034	4
48	LM7	Lavamanos	27.51	0.036	4
49	LM8	Lavamanos	26.78	0.037	4

*Nota.* Valores obtenidos en campo con manómetro de aceite, balde y cronómetro.

**Tabla 28.** Caudal y presión de puntos en edificación Hangar

	<b>Etiqueta</b>	<b>Aparato</b>	<b>tiempo x 1litro</b>	<b>Q</b>	<b>Presión</b>
<b>#</b>	<b>Hangar</b>		<b>s</b>	<b>l/s</b>	<b>PSI</b>
1	LLVE2	M. Jardín	28.11	0.036	4
2	WC6	Inodoro	26.48	0.038	5
3	WC5	Inodoro	28.11	0.036	5
4	WC4	Inodoro	28.42	0.035	5
5	WC3	Inodoro	27.57	0.036	5
6	LM4	Lavamanos	28.84	0.035	4
7	LM3	Lavamanos	27.21	0.037	4
8	LM2	Lavamanos	27.46	0.036	4
9	LM1	Lavamanos	27.29	0.037	4
10	OR3	Orinal	26.56	0.038	5
11	OR2	Orinal	26.32	0.038	5
12	OR1	Orinal	26.59	0.038	5
13	WC2	Inodoro	28.27	0.035	5
14	WC1	Inodoro	27.23	0.037	5
15	LLVE1	M. Jardín	27.59	0.036	3
16	LP3	Lavaplatos	27.42	0.036	4
17	LP2	Lavaplatos	27.09	0.037	4
18	LP1	Lavaplatos	28.37	0.035	4

*Nota.* Valores obtenidos en campo con manómetro de aceite, balde y cronómetro.

**Tabla 29.** Caudal y presión de puntos en edificación Ilusión

	<b>Etiqueta</b>	<b>Aparato</b>	<b>tiempo x 1litro</b>	<b>Q</b>	<b>Presión</b>
<b>#</b>	<b>Ilusión</b>		<b>s</b>	<b>l/s</b>	<b>PSI</b>
1	WC12	Inodoro	28.52	0.035	6.5
2	LM9	Lavamanos	29.13	0.034	6.5
3	DCH2	Ducha	28.33	0.035	6.5
4	LP5	Lavaplatos	29.59	0.034	9
5	LP4	Lavaplatos	29.5	0.034	9
6	LP3	Lavaplatos	29.45	0.034	8
7	LP2	Lavaplatos	28.31	0.035	8
8	LP1	Lavaplatos	27.58	0.036	8
9	LM8	Lavamanos	28.65	0.035	8
10	LM7	Lavamanos	28.26	0.035	8
11	LM6	Lavamanos	27.69	0.036	8

**Tabla 29 (continuación).** Caudal y presión de puntos en edificación Ilusión

#	Etiqueta	Aparato	tiempo x 1litro s	Q l/s	Presión PSI
12	OR3	Orinal	28.71	0.035	6.5
13	OR2	Orinal	28.18	0.035	6.5
14	OR1	Orinal	27.77	0.036	6.5
15	WC11	Inodoro	29.8	0.034	6
16	WC10	Inodoro	28.24	0.035	6
17	WC9	Inodoro	30.1	0.033	6
18	WC8	Inodoro	29.59	0.034	6
19	WC7	Inodoro	29.44	0.034	6
20	WC6	Inodoro	28.82	0.035	6
21	LM4	Lavamanos	29.73	0.034	7
22	LM3	Lavamanos	27.88	0.036	7
23	LM2	Lavamanos	29.31	0.034	7
24	LM1	Lavamanos	28.79	0.035	6.5
25	LM5	Lavamanos	30.05	0.033	6.5
26	DCH1	Ducha	28.23	0.035	5
27	WC5	Inodoro	27.71	0.036	5
28	WC4	Inodoro	29.26	0.034	6
29	WC3	Inodoro	28.98	0.035	6
30	WC2	Inodoro	29.57	0.034	6
31	WC1	Inodoro	29.96	0.033	6

*Nota.* Valores obtenidos en campo con manómetro de aceite, balde y cronómetro.

**Tabla 30.** Caudal y presión de puntos en edificación Lavandería

#	Etiqueta	Aparato	tiempo x 1litro s	Q l/s	Presión PSI
1	PL1	Plancha	26.85	0.037	4
2	PL2	Plancha	26.46	0.038	4
3	LLVE	Lavadero	27.66	0.036	3
4	WC	Inodoro	25.32	0.039	3
5	LM	Lavamanos	25.55	0.039	4
6	LV2	Lavadora	27.9	0.036	5
7	LV1	Lavadora	26.18	0.038	5
8	LV4	Lavadora	25.52	0.039	4.5
9	LV3	Lavadora	27.79	0.036	5

*Nota.* Valores obtenidos en campo con manómetro de aceite, balde y cronómetro

**Tabla 31.** Caudal y presión de puntos en edificación Nupciales

	<b>Etiqueta</b>	<b>Aparato</b>	<b>tiempo x 1litro</b>	<b>Q</b>	<b>Presión</b>
<b>#</b>	<b>Nupciales</b>		<b>s</b>	<b>l/s</b>	<b>PSI</b>
<b>1</b>	LM2	Lavamanos	29.25	0.034	5
<b>2</b>	WC2	Inodoro	29.14	0.034	5.5
<b>3</b>	DCH2	Ducha	29.56	0.034	5.5
<b>4</b>	JAC2	Bañera	29.02	0.034	5.5
<b>5</b>	JAC1	Bañera	29.47	0.034	5.5
<b>6</b>	LM1	Lavamanos	29.41	0.034	5
<b>7</b>	WC1	Inodoro	29.15	0.034	5
<b>8</b>	DCH1	Ducha	28.56	0.035	5

*Nota.* Valores obtenidos en campo con manómetro de aceite, balde y cronómetro.

**Tabla 32.** Caudal y presión de puntos en edificación SPA

	<b>Etiqueta</b>	<b>Aparato</b>	<b>tiempo x 1litro</b>	<b>Q</b>	<b>Presión</b>
<b>#</b>	<b>Spa</b>		<b>s</b>	<b>l/s</b>	<b>PSI</b>
<b>1</b>	WC6	Inodoro	27.37	0.037	5
<b>2</b>	LM7	Lavamanos	28.37	0.035	4.5
<b>3</b>	LM6	Lavamanos	27.61	0.036	4.5
<b>4</b>	LM5	Lavamanos	27.92	0.036	4.5
<b>5</b>	WC5	Inodoro	28.01	0.036	5
<b>6</b>	DCH5	Ducha	27.77	0.036	4
<b>7</b>	DCH4	Ducha	27.48	0.036	4
<b>8</b>	DCH3	Ducha	28.39	0.035	4
<b>9</b>	JAC	Bañera	27.37	0.037	5
<b>10</b>	DCH2	Ducha	27.61	0.036	4
<b>11</b>	WC4	Inodoro	28.38	0.035	5
<b>12</b>	LM4	Lavamanos	27.89	0.036	4.5
<b>13</b>	LM3	Lavamanos	27.64	0.036	4.5
<b>14</b>	WC3	Inodoro	27.69	0.036	5
<b>15</b>	DCH1	Ducha	27.35	0.037	4
<b>16</b>	WC1	Inodoro	27.32	0.037	5
<b>17</b>	LM1	Lavamanos	28.28	0.035	4
<b>18</b>	LM9	Lavamanos	28.19	0.035	4
<b>19</b>	WC8	Inodoro	27.48	0.036	4.5
<b>20</b>	DCH9	Ducha	28.23	0.035	4.5
<b>21</b>	DCH8	Ducha	28.03	0.036	4.5

**Tabla 32 (continuación).** Caudal y presión de puntos en edificación SPA

#	Etiqueta	Aparato	tiempo x litro	Q	Presión
	Spa		s	l/s	PSI
22	LM8	Lavamanos	27.76	0.036	4.5
23	WC7	Inodoro	28.07	0.036	4.5
24	DCH7	Ducha	28.43	0.035	4.5
25	DCH6	Ducha	27.32	0.037	4.5
26	TUR	Bañera	28.17	0.035	5
27	WC2	Inodoro	28.21	0.035	4.5
28	LM2	Lavamanos	27.73	0.036	4.5

*Nota.* Valores obtenidos en campo con manómetro de aceite, balde y cronómetro.

**Tabla 33.** Listado de aparatos sanitarios en edificación Cabaña

#	Etiqueta	Aparato	Qmin (l/s)	Qrecom (l/s)	UDC
1	DCH5	Ducha	0.2	0.3	4
2	LM4	Lavamanos	0.2	0.3	4
3	DCH4	Ducha	0.2	0.3	4
4	DCH3	Ducha	0.2	0.3	4
5	WC5	Inodoro	0.3	0.35	3
6	LM3	Lavamanos	0.2	0.3	4
7	WC4	Inodoro	0.3	0.35	3
8	WC3	Inodoro	0.3	0.35	3
9	LP	Lavaplatos	0.3	0.45	2
10	LM1	Lavamanos	0.2	0.3	4
11	LM2	Lavamanos	0.2	0.3	4
12	WC2	Inodoro	0.3	0.35	3
13	WC1	Inodoro	0.3	0.35	3
14	DCH2	Ducha	0.2	0.3	4
15	DCH1	Ducha	0.2	0.3	4

*Nota.* Condiciones de funcionamiento de los aparatos sanitarios de acuerdo con [3] en donde la columna etiquetada con Qmin representa el caudal mínimo, la columna Qrecom representa el caudal recomendado en litros por segundo y la columna etiquetada con UDC representa las Unidades de Consumo de los aparatos para su correcta prestación del servicio establecido por la norma Icontec 1500 tabla 6.1 en [7].

**Tabla 34.** Listado de aparatos sanitarios en edificación Ensueño

#	Etiqueta	Aparato	Qmin	Qrecom	UDC
			l/s	l/s	
1	LM1	Lavamanos	0.2	0.3	4
2	LM3	Lavamanos	0.2	0.3	4
3	WC2	Inodoro	0.3	0.35	3
4	DCH2	Ducha	0.2	0.3	4
5	WC1	Inodoro	0.3	0.35	3
6	DCH1	Ducha	0.2	0.3	4
7	DCH6	Ducha	0.2	0.3	4
8	WC6	Inodoro	0.3	0.35	3
9	LM6	Lavamanos	0.2	0.3	4
10	DCH5	Ducha	0.2	0.3	4
11	WC5	Inodoro	0.3	0.35	3
12	LV	Lavadora	0.3	0.45	3
13	LM5	Lavamanos	0.2	0.3	4
14	LP1	Lavaplatos	0.3	0.45	2
15	DCH3	Ducha	0.2	0.3	4
16	WC3	Inodoro	0.3	0.35	3
17	LM3	Lavamanos	0.2	0.3	4
18	LM4	Lavamanos	0.2	0.3	4
19	WC4	Inodoro	0.3	0.35	3
20	DCH4	Ducha	0.2	0.3	4
21	LM21	Lavamanos	0.2	0.3	4
22	LM20	Lavamanos	0.2	0.3	4
23	LM19	Lavamanos	0.2	0.3	4
24	LM18	Lavamanos	0.2	0.3	4
25	WC17	Inodoro	2.5	2.5	6
26	WC16	Inodoro	2.5	2.5	6
27	WC15	Inodoro	2.5	2.5	6
28	WC14	Inodoro	2.5	2.5	6
29	WC13	Inodoro	2.5	2.5	6
30	WC12	Inodoro	2.5	2.5	6
31	OR4	Orinal	2	2	5
32	OR3	Orinal	2	2	5
33	LM17	Lavamanos	0.2	0.3	4
34	LM16	Lavamanos	0.2	0.3	4
35	LM15	Lavamanos	0.2	0.3	4
36	LP4	Lavaplatos	0.3	0.45	4
37	LP3	Lavaplatos	0.3	0.45	4
38	LM14	Lavamanos	0.2	0.3	4

**Tabla 34 (continuación).** *Listado de aparatos sanitarios en edificación Ensueño*

#	Etiqueta	Aparato	Qmin	Qrecom	UDC
			l/s	l/s	
39	LM13	Lavamanos	0.2	0.3	4
40	LM12	Lavamanos	0.2	0.3	4
41	LP2	Lavaplatos	0.3	0.45	4
42	OR2	Orinal	2	2	5
43	OR1	Orinal	2	2	5
44	WC11	Inodoro	2.5	2.5	6
45	WC10	Inodoro	2.5	2.5	6
46	WC9	Inodoro	2.5	2.5	6
47	WC8	Inodoro	2.5	2.5	6
48	LM8	Lavamanos	0.2	0.3	4
49	LM9	Lavamanos	0.2	0.3	4
50	LM10	Lavamanos	0.2	0.3	4
51	LM11	Lavamanos	0.2	0.3	4
52	DCH7	Ducha	0.2	0.3	4
53	WC7	Inodoro	0.3	0.35	3
54	LM7	Lavamanos	0.2	0.3	4

*Nota.* Condiciones de funcionamiento de los aparatos sanitarios de acuerdo con [3] en donde la columna etiquetada con Qmin representa el caudal mínimo, la columna Qrecom representa el caudal recomendado en litros por segundo y la columna etiquetada con UDC representa las Unidades de Consumo de los aparatos para su correcta prestación del servicio.

**Tabla 35.** *Listado de aparatos sanitarios en edificación Fantasía*

#	Etiqueta	Aparato	Qmin	Qrecom	UDC
			l/s	l/s	
1	LM16	Lavamanos	0.2	0.3	4
2	WC15	Inodoro	0.3	0.35	3
3	LP9	Lavaplatos	0.3	0.45	4
4	LP8	Lavaplatos	0.3	0.45	4
5	LP7	Lavaplatos	0.3	0.45	4

**Tabla 35 (continuación).** *Listado de aparatos sanitarios en edificación Fantasía*

#	Etiqueta	Aparato	Qmin	Qrecom	UDC
			l/s	l/s	
6	LP6	Lavaplatos	0.3	0.45	4
7	LP5	Lavaplatos	0.3	0.45	4
8	LP4	Lavaplatos	0.3	0.45	4
9	LP3	Lavaplatos	0.3	0.45	4
10	LP2	Lavaplatos	0.3	0.45	4
11	LP1	Lavaplatos	0.3	0.45	4
12	LM15	Lavamanos	0.2	0.3	4
13	DCH1	Ducha	0.2	0.3	4
14	WC14	Inodoro	0.3	0.35	3
15	LM14	Lavamanos	0.2	0.3	4
16	LM13	Lavamanos	0.2	0.3	4
17	LM12	Lavamanos	0.2	0.3	4
18	LM11	Lavamanos	0.2	0.3	4
19	LM10	Lavamanos	0.2	0.3	4
20	LM9	Lavamanos	0.2	0.3	4
21	OR8	Orinal	2	2	5
22	OR7	Orinal	2	2	5
23	OR6	Orinal	2	2	5
24	OR5	Orinal	2	2	5
25	WC13	Inodoro	2.5	2.5	6
26	WC12	Inodoro	2.5	2.5	6
27	WC11	Inodoro	2.5	2.5	6
28	WC10	Inodoro	2.5	2.5	6
29	WC9	Inodoro	2.5	2.5	6
30	WC8	Inodoro	2.5	2.5	6
31	WC7	Inodoro	2.5	2.5	6
32	WC6	Inodoro	2.5	2.5	6
33	LM1	Lavamanos	0.2	0.3	4
34	LM2	Lavamanos	0.2	0.3	4
35	LM3	Lavamanos	0.2	0.3	4
36	LM4	Lavamanos	0.2	0.3	4
37	WC1	Inodoro	2.5	2.5	6
38	WC2	Inodoro	2.5	2.5	6
39	OR1	Orinal	2	2	5
40	OR4	Orinal	2	2	5
41	OR3	Orinal	2	2	5
42	OR2	Orinal	2	2	5
43	WC5	Inodoro	2.5	2.5	6

**Tabla 35 (continuación).** *Listado de aparatos sanitarios en edificación Fantasía*

#	Etiqueta	Aparato	Qmin	Qrecom	UDC
			l/s	l/s	
44	WC4	Inodoro	2.5	2.5	6
45	WC3	Inodoro	2.5	2.5	6
46	LM5	Lavamanos	0.2	0.3	4
47	LM6	Lavamanos	0.2	0.3	4
48	LM7	Lavamanos	0.2	0.3	4
49	LM8	Lavamanos	0.2	0.3	4

*Nota.* Condiciones de funcionamiento de los aparatos sanitarios de acuerdo con [3] en donde la columna etiquetada con Qmin representa el caudal mínimo, la columna Qrecom representa el caudal recomendado en litros por segundo y la columna etiquetada con UDC representa las Unidades de Consumo de los aparatos para su correcta prestación del servicio establecido por la norma Icontec 1500 tabla 6.1 en [7].

**Tabla 36.** *Listado de aparatos sanitarios en edificación Hangar*

#	Etiqueta	Aparato	Qmin	Qrecom	UDC
			l/s	l/s	
1	LLVE2	M. Jardín	0.3	0.45	3
2	WC6	Inodoro	2.5	2.5	6
3	WC5	Inodoro	2.5	2.5	6
4	WC4	Inodoro	2.5	2.5	6
5	WC3	Inodoro	2.5	2.5	6
6	LM4	Lavamanos	0.2	0.3	4
7	LM3	Lavamanos	0.2	0.3	4
8	LM2	Lavamanos	0.2	0.3	4
9	LM1	Lavamanos	0.2	0.3	4
10	OR3	Orinal	2	2	5
11	OR2	Orinal	2	2	5
12	OR1	Orinal	2	2	5
13	WC2	Inodoro	2.5	2.5	6
14	WC1	Inodoro	2.5	2.5	6

**Tabla 36 (continuación).** *Listado de aparatos sanitarios edificación Hangar*

#	Etiqueta	Aparato	Qmin l/s	Qrecom l/s	UDC
15	LLVE1	M. Jardín	0.3	0.45	3
16	LP3	Lavaplatos	0.3	0.45	4
17	LP2	Lavaplatos	0.3	0.45	4
18	LP1	Lavaplatos	0.3	0.45	4

*Nota.* Condiciones de funcionamiento de los aparatos sanitarios de acuerdo con [3] en donde la columna etiquetada con Qmin representa el caudal mínimo, la columna Qrecom representa el caudal recomendado en litros por segundo y la columna etiquetada con UDC representa las Unidades de Consumo de los aparatos para su correcta prestación del servicio establecido por la norma Icontec 1500 tabla 6.1 en [7].

**Tabla 37.** *Listado de aparatos sanitarios edificación Ilusión*

#	Etiqueta	Aparato	Qmin l/s	Qrecom l/s	UDC
1	WC12	Inodoro	0.3	0.35	3
2	LM9	Lavamanos	0.2	0.3	4
3	DCH2	Ducha	0.2	0.3	4
4	LP5	Lavaplatos	0.3	0.45	4
5	LP4	Lavaplatos	0.3	0.45	4
6	LP3	Lavaplatos	0.3	0.45	4
7	LP2	Lavaplatos	0.3	0.45	4
8	LP1	Lavaplatos	0.3	0.45	4
9	LM8	Lavamanos	0.2	0.3	4
10	LM7	Lavamanos	0.2	0.3	4
11	LM6	Lavamanos	0.2	0.3	4
12	OR3	Orinal	2	2	5
13	OR2	Orinal	2	2	5
14	OR1	Orinal	2	2	5
15	WC11	Inodoro	2.5	2.5	6
16	WC10	Inodoro	2.5	2.5	6

**Tabla 37 (continuación).** *Listado de aparatos sanitarios edificación Ilusión*

#	Etiqueta	Aparato	Qmin	Qrecom	UDC
			l/s	l/s	
17	WC9	Inodoro	2.5	2.5	6
18	WC8	Inodoro	2.5	2.5	6
19	WC7	Inodoro	2.5	2.5	6
20	WC6	Inodoro	2.5	2.5	6
21	LM4	Lavamanos	0.2	0.3	4
22	LM3	Lavamanos	0.2	0.3	4
23	LM2	Lavamanos	0.2	0.3	4
24	LM1	Lavamanos	0.2	0.3	4
25	LM5	Lavamanos	0.2	0.3	4
26	DCH1	Ducha	0.2	0.3	4
27	WC5	Inodoro	0.3	0.35	3
28	WC4	Inodoro	2.5	2.5	6
29	WC3	Inodoro	2.5	2.5	6
30	WC2	Inodoro	2.5	2.5	6
31	WC1	Inodoro	2.5	2.5	6

*Nota.* Condiciones de funcionamiento de los aparatos sanitarios de acuerdo con [3] en donde la columna etiquetada con Qmin representa el caudal mínimo, la columna Qrecom representa el caudal recomendado en litros por segundo y la columna etiquetada con UDC representa las Unidades de Consumo de los aparatos para su correcta prestación del servicio establecido por la norma Icontec 1500 tabla 6.1 en [7].

**Tabla 38.** *Listado de aparatos sanitarios edificación Lavandería*

#	Etiqueta	Aparato	Qmin	Qrecom	UDC
			l/s	l/s	
1	PL1	Plancha	0.3	0.45	3
2	PL2	Plancha	0.3	0.45	3
3	LLVE	Lavadero	0.3	0.45	3
4	WC	Inodoro	0.3	0.35	3

**Tabla 38 (continuación).** *Listado de aparatos sanitarios edificación Lavandería*

#	Etiqueta	Aparato	Qmin l/s	Qrecom l/s	UDC
5	LM	Lavamanos	0.2	0.3	4
6	LV2	Lavadora	0.3	0.45	3
7	LV1	Lavadora	0.3	0.45	3
8	LV4	Lavadora	0.3	0.45	3
9	LV3	Lavadora	0.3	0.45	3

*Nota.* Condiciones de funcionamiento de los aparatos sanitarios de acuerdo con [3] en donde la columna etiquetada con Qmin representa el caudal mínimo, la columna Qrecom representa el caudal recomendado en litros por segundo y la columna etiquetada con UDC representa las Unidades de Consumo de los aparatos para su correcta prestación del servicio establecido por la norma Icontec 1500 tabla 6.1 en [7].

**Tabla 39.** *Listado de aparatos sanitarios edificación Nupciales*

#	Etiqueta	Aparato	Qmin l/s	Qrecom l/s	UDC
1	LM2	Lavamanos	0.2	0.3	4
2	WC2	Inodoro	0.3	0.35	3
3	DCH2	Ducha	0.2	0.3	4
4	JAC2	Bañera	0.3	0.35	6
5	JAC1	Bañera	0.3	0.35	6
6	LM1	Lavamanos	0.2	0.3	4
7	WC1	Inodoro	0.3	0.35	3
8	DCH1	Ducha	0.2	0.3	4

*Nota.* Condiciones de funcionamiento de los aparatos sanitarios de acuerdo con [3] en donde la columna etiquetada con Qmin representa el caudal mínimo, la columna Qrecom representa el caudal recomendado en litros por segundo y la columna etiquetada con UDC representa las Unidades de Consumo de los aparatos para su correcta prestación del servicio.

**Tabla 40.** Listado de aparatos sanitarios edificación SPA

#	Etiqueta	Aparato	Qmin l/s	Qrecom l/s	UDC
1	WC6	Inodoro	0.3	0.35	3
2	LM7	Lavamanos	0.2	0.3	4
3	LM6	Lavamanos	0.2	0.3	4
4	LM5	Lavamanos	0.2	0.3	4
5	WC5	Inodoro	0.3	0.35	3
6	DCH5	Ducha	0.2	0.3	4
7	DCH4	Ducha	0.2	0.3	4
8	DCH3	Ducha	0.2	0.3	4
9	JAC	Bañera	0.3	0.35	6
10	DCH2	Ducha	0.2	0.3	4
11	WC4	Inodoro	0.3	0.35	3
12	LM4	Lavamanos	0.2	0.3	4
13	LM3	Lavamanos	0.2	0.3	4
14	WC3	Inodoro	0.3	0.35	3
15	DCH1	Ducha	0.2	0.3	4
16	WC1	Inodoro	0.3	0.35	3
17	LM1	Lavamanos	0.2	0.3	4
18	LM9	Lavamanos	0.2	0.3	4
19	WC8	Inodoro	0.3	0.35	3
20	DCH9	Ducha	0.2	0.3	4
21	DCH8	Ducha	0.2	0.3	4
22	LM8	Lavamanos	0.2	0.3	4
23	WC7	Inodoro	0.3	0.35	3
24	DCH7	Ducha	0.2	0.3	4
25	DCH6	Ducha	0.2	0.3	4
26	TUR	Bañera	0.3	0.35	6
27	WC2	Inodoro	0.3	0.35	3
28	LM2	Lavamanos	0.2	0.3	4

*Nota.* Condiciones de funcionamiento de los aparatos sanitarios de acuerdo con [3] en donde la columna etiquetada con Qmin representa el caudal mínimo, la columna Qrecom representa el caudal recomendado en litros por segundo y la columna etiquetada con UDC representa las Unidades de Consumo de los aparatos para su correcta prestación del servicio.

**Tabla 41.** Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Cabaña

Tramo	# Aparatos Sanitarios	Unidades de consumo	Qmax probable  lps	Diámetro mínimo  D (in)	Diámetro nominal  DN (in)	Diámetro efectivo  De (m)	Velocidad real  Vr (m/s)
<b>DCH5-13</b>	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
<b>13-14</b>	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
<b>14-12</b>	3	12	0.6420	0.7959	3/4	0.0236	1.46
<b>DCH3-9</b>	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
<b>9-10</b>	2	7	0.4432	0.6613	3/4	0.0236	1.01
<b>10-11</b>	3	11	0.6047	0.7725	3/4	0.0236	1.38
<b>11-12</b>	4	14	0.7137	0.8392	3/4	0.0236	1.63
<b>12-8</b>	7	26	1.0924	1.0382	1	0.0302	1.53
<b>8-7</b>	8	29	1.1775	1.0779	1	0.0302	1.64
<b>7-6</b>	9	31	1.2328	1.1029	1	0.0302	1.72
<b>LM1-1</b>	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
<b>LM2-1</b>	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
<b>1-2</b>	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
<b>2-3</b>	3	11	0.6047	0.7725	3/4	0.0236	1.38
<b>3-4</b>	4	14	0.7137	0.8392	3/4	0.0236	1.63
<b>4-5</b>	5	18	0.8484	0.9149	1	0.0302	1.18
<b>5-6</b>	6	22	0.9739	0.9803	1	0.0302	1.36
<b>6-M</b>	15	53	1.7825	1.3262	1 1/4	0.0381	1.56

*Nota.* Determinación de caudales, velocidades y diámetros utilizando el método de Hunter modificado en donde Qmax probable: es el caudal máximo probable hallado a partir de las unidades de consumo y la ecuación presentada por Rodríguez en [3], los diámetros hallados a partir de la ecuación de continuidad, aproximando de acuerdo con los valores comerciales de tubería en PVC y estableciendo una velocidad de diseño de 2 m/s de acuerdo con la norma Icontec 1500 en [7] y la velocidad real recalculada a partir de la ecuación de continuidad  $V=Q/A$ .

**Tabla 42.** Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Ensueño

Tramo	# Aparatos Sanitarios	Unidades de consumo	Qmax probable  lps	Diámetro mínimo  D (in)	Diámetro nominal  DN (in)	Diámetro efectivo  De (m)	Velocidad real  Vr (m/s)
LM21-21	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
21-22	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
22-23	3	12	0.6420	0.7959	3/4	0.0236	1.46
23-24	4	16	0.7824	0.8786	1	0.0302	1.09
24-25	5	22	2.3736	1.5304	1 1/2	0.0437	1.58
25-26	6	28	2.6039	1.6030	1 1/2	0.0437	1.74
26-27	7	34	2.8055	1.6638	2	0.0546	1.20
27-29	8	40	2.9861	1.7166	2	0.0546	1.28
WC13-28	1	6	1.4412	1.1925	1 1/4	0.0381	1.26
28-29	2	12	1.8807	1.3623	1 1/4	0.0381	1.65
29-30	10	52	3.3027	1.8053	2	0.0546	1.41
30-31	11	57	3.4212	1.8374	2	0.0546	1.46
31-34	12	62	3.5334	1.8673	2	0.0546	1.51
LM17-32	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
32-33	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
33-34	3	12	0.6420	0.7959	3/4	0.0236	1.46
34-36	15	74	2.2422	1.4875	1 1/2	0.0437	1.50
LP3-35	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
LP4-35	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
35-36	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
36-42	17	82	2.4062	1.5409	1 1/2	0.0437	1.61
LM14-37	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
37-38	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
38-39	3	12	0.6420	0.7959	3/4	0.0236	1.46
39-40	4	16	0.7824	0.8786	1	0.0302	1.09
40-41	5	21	2.3316	1.5168	1 1/2	0.0437	1.56
41-42	6	26	2.5309	1.5803	1 1/2	0.0437	1.69
42-46	23	108	2.9078	1.6939	2	0.0546	1.24
WC11-43	1	6	1.4412	1.1925	1 1/4	0.0381	1.26
43-44	2	12	1.8807	1.3623	1 1/4	0.0381	1.65
44-45	3	18	2.1976	1.4726	1 1/2	0.0437	1.47
45-46	4	24	2.4543	1.5562	1 1/2	0.0437	1.64
46-50	27	132	3.3379	1.8149	2	0.0546	1.43
LM8-47	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16

**Tabla 42 (continuación).** Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Ensueño

Tramo	# Aparatos Sanitarios	Unidades de consumo	Qmax probable lps	Diámetro mínimo D (in)	Diámetro nominal DN (in)	Diámetro efectivo De (m)	Velocidad real Vr (m/s)
47-48	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
48-49	3	12	0.6420	0.7959	3/4	0.0236	1.46
49-50	4	16	0.7824	0.8786	1	0.0302	1.09
50-51	31	148	3.6111	1.8877	2	0.0546	1.54
51-52	32	152	3.6779	1.9050	2	0.0546	1.57
52-53	33	155	3.7276	1.9179	2	0.0546	1.59
53-19	34	159	3.7935	1.9348	2	0.0546	1.62
DCH6-6	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
6-7	2	7	0.4432	0.6613	3/4	0.0236	1.01
7-11	3	11	0.6047	0.7725	3/4	0.0236	1.38
DCH5-8	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
8-9	2	7	0.4432	0.6613	3/4	0.0236	1.01
9-10	3	10	0.5663	0.7476	3/4	0.0236	1.29
10-11	4	14	0.7137	0.8392	3/4	0.0236	1.63
11-12	7	25	1.0633	1.0243	1	0.0302	1.48
12-13	8	27	1.1211	1.0518	1	0.0302	1.57
13-14	9	31	1.2328	1.1029	1	0.0302	1.72
14-18	10	34	1.3136	1.1385	1 1/4	0.0381	1.15
LM4-15	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
15-16	2	7	0.4432	0.6613	3/4	0.0236	1.01
16-17	3	11	0.6047	0.7725	3/4	0.0236	1.38
17-18	4	15	0.7484	0.8594	3/4	0.0236	1.71
18-19	14	49	1.6888	1.2909	1 1/4	0.0381	1.48
19-20	48	208	4.5630	2.1219	2	0.0546	1.95
LM3-1	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
1-2	2	7	0.4432	0.6613	3/4	0.0236	1.01
2-3	3	11	0.6047	0.7725	3/4	0.0236	1.38
3-4	4	15	0.7484	0.8594	3/4	0.0236	1.71
4-5	5	18	0.8484	0.9149	1	0.0302	1.18
5-20	6	22	0.9739	0.9803	1	0.0302	1.36
20-M	54	230	4.8895	2.1965	2 1/2	0.0661	1.43

*Nota.* Determinación de caudales, velocidades y diámetros utilizando el método de Hunter modificado en donde Qmax probable: es el caudal máximo probable hallado a partir de las unidades de consumo y la ecuación presentada por Rodríguez en [3], los diámetros hallados a partir de la

ecuación de continuidad, aproximando de acuerdo con los valores comerciales de tubería en PVC y estableciendo una velocidad de diseño de 2 m/s de acuerdo con la norma Icontec 1500 en [7] y la velocidad real recalculada a partir de la ecuación de continuidad  $V=Q/A$ .

**Tabla 43.** Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Fantasía

Tramo	# Aparatos Sanitarios	Unidades de consumo	Qmax probable lps	Diámetro mínimo D (in)	Diámetro nominal DN (in)	Diámetro efectivo De (m)	Velocidad real Vr (m/s)
LM16-1	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
1-3	2	7	0.4432	0.6613	3/4	0.0236	1.01
LP8-2	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
LP9-2	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
2-3	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
3-8	4	15	0.7484	0.8594	3/4	0.0236	1.71
LP7-4	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
4-5	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
5-7	3	12	0.6420	0.7959	3/4	0.0236	1.46
LP3-6	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
6-7	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
7-8	5	20	0.9121	0.9487	1	0.0302	1.27
8-10	9	35	1.3401	1.1499	1 1/4	0.0381	1.17
LP1-9	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
9-10	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
10-11	11	43	1.5438	1.2342	1 1/4	0.0381	1.35
11-13	12	47	1.6411	1.2726	1 1/4	0.0381	1.44
WC14-12	1	3	0.2475	0.4942	1/2	0.0182	0.95
12-13	2	7	0.4432	0.6613	3/4	0.0236	1.01
13-16	14	54	1.8055	1.3348	1 1/4	0.0381	1.58
LM14-14	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
14-15	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
15-16	3	12	0.6420	0.7959	3/4	0.0236	1.46
16-31	17	66	2.0726	1.4301	1 1/2	0.0437	1.38
LM11-17	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
17-18	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
18-22	3	12	0.6420	0.7959	3/4	0.0236	1.46
OR8-19	1	5	1.3438	1.1515	1 1/4	0.0381	1.18
19-21	2	10	1.7536	1.3154	1 1/4	0.0381	1.53

**Tabla 43 (continuación).** *Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Fantasía*

Tramo	# Aparatos Sanitarios	Unidades de consumo	Qmax probable  lps	Diámetro mínimo  D (in)	Diámetro nominal  DN (in)	Diámetro efectivo  De (m)	Velocidad real  Vr (m/s)
<b>OR5-20</b>	1	5	1.3438	1.1515	1 1/4	0.0381	1.18
<b>20-21</b>	2	10	1.7536	1.3154	1 1/4	0.0381	1.53
<b>21-22</b>	4	20	2.2883	1.5027	1 1/2	0.0437	1.53
<b>22-30</b>	7	32	1.2600	1.1150	1	0.0302	1.76
<b>WC13-23</b>	1	6	1.4412	1.1925	1 1/4	0.0381	1.26
<b>23-24</b>	2	12	1.8807	1.3623	1 1/4	0.0381	1.65
<b>24-25</b>	3	18	2.1976	1.4726	1 1/2	0.0437	1.47
<b>25-26</b>	4	24	2.4543	1.5562	1 1/2	0.0437	1.64
<b>26-27</b>	5	30	2.6738	1.6243	1 1/2	0.0437	1.78
<b>27-28</b>	6	36	2.8677	1.6822	2	0.0546	1.23
<b>28-29</b>	7	42	3.0426	1.7327	2	0.0546	1.30
<b>29-30</b>	8	48	3.2027	1.7777	2	0.0546	1.37
<b>30-31</b>	15	80	2.3657	1.5279	1 1/2	0.0437	1.58
<b>31-48</b>	32	146	3.5774	1.8789	2	0.0546	1.53
<b>LM1-32</b>	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
<b>32-33</b>	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
<b>33-34</b>	3	12	0.6420	0.7959	3/4	0.0236	1.46
<b>34-35</b>	4	16	0.7824	0.8786	1	0.0302	1.09
<b>35-36</b>	5	22	2.3736	1.5304	1 1/2	0.0437	1.58
<b>36-37</b>	6	28	2.6039	1.6030	1 1/2	0.0437	1.74
<b>37-43</b>	7	33	2.7735	1.6543	2	0.0546	1.19
<b>OR4-38</b>	1	5	1.3438	1.1515	1 1/4	0.0381	1.18
<b>38-39</b>	2	10	1.7536	1.3154	1 1/4	0.0381	1.53
<b>39-42</b>	3	15	2.0490	1.4219	1 1/2	0.0437	1.37
<b>WC5-40</b>	1	6	1.4412	1.1925	1 1/4	0.0381	1.26
<b>40-41</b>	2	12	1.8807	1.3623	1 1/4	0.0381	1.65
<b>41-42</b>	3	18	2.1976	1.4726	1 1/2	0.0437	1.47
<b>42-43</b>	6	33	2.7735	1.6543	2	0.0546	1.19
<b>43-44</b>	13	66	3.6193	1.8898	2	0.0546	1.55
<b>44-45</b>	14	70	2.1582	1.4593	1 1/2	0.0437	1.44
<b>45-46</b>	15	74	2.2422	1.4875	1 1/2	0.0437	1.50
<b>46-47</b>	16	78	2.3248	1.5146	1 1/2	0.0437	1.55
<b>47-48</b>	17	82	2.4062	1.5409	1 1/2	0.0437	1.61
<b>48-M</b>	49	228	4.8603	2.1900	2 1/2	0.0661	1.42

*Nota.* Determinación de caudales, velocidades y diámetros utilizando el método de Hunter modificado en donde  $Q_{\max}$  probable: es el caudal máximo probable hallado a partir de las unidades de consumo y la ecuación presentada por Rodríguez en [3], los diámetros hallados a partir de la ecuación de continuidad, aproximando de acuerdo con los valores comerciales de tubería en PVC y estableciendo una velocidad de diseño de 2 m/s de acuerdo con la norma Icontec 1500 en [7] y la velocidad real recalculada a partir de la ecuación de continuidad  $V=Q/A$ .

**Tabla 44.** Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Hangar

Tramo	# Aparatos Sanitarios	Unidades de consumo	$Q_{\max}$ probable	Diámetro mínimo	Diámetro nominal	Diámetro efectivo	Velocidad real
			lps	D (in)	DN (in)	De (m)	Vr (m/s)
<b>LLVE2-4</b>	1	3	0.2475	0.4942	1/2	0.0182	0.95
<b>4-5</b>	2	9	1.6840	1.2891	1 1/2	0.0437	1.12
<b>5-6</b>	3	15	2.0490	1.4219	1 1/2	0.0437	1.37
<b>6-7</b>	4	21	2.3316	1.5168	1 1/2	0.0437	1.56
<b>7-8</b>	5	27	2.5678	1.5918	1 1/2	0.0437	1.71
<b>8-9</b>	6	31	1.2328	1.1029	1 1/4	0.0381	1.08
<b>9-10</b>	7	35	1.3401	1.1499	1 1/4	0.0381	1.17
<b>10-11</b>	8	39	1.4436	1.1935	1 1/4	0.0381	1.26
<b>11-12</b>	9	43	1.5438	1.2342	1 1/4	0.0381	1.35
<b>12-13</b>	10	48	3.2027	1.7777	2	0.0546	1.37
<b>13-14</b>	11	53	3.3269	1.8119	2	0.0546	1.42
<b>14-15</b>	12	58	3.4441	1.8435	2	0.0546	1.47
<b>15-16</b>	13	64	3.5768	1.8787	2	0.0546	1.53
<b>16-17</b>	14	70	3.7020	1.9113	2	0.0546	1.58
<b>LP1-1</b>	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
<b>1-3</b>	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
<b>LLVE1-2</b>	1	3	0.2475	0.4942	1/2	0.0182	0.95
<b>2-3</b>	2	7	0.4432	0.6613	3/4	0.0236	1.01
<b>3-17</b>	4	15	0.7484	0.8594	3/4	0.0236	1.71
<b>17-M</b>	18	85	2.4664	1.5600	2	0.0546	1.05

*Nota.* Determinación de caudales, velocidades y diámetros utilizando el método de Hunter modificado en donde  $Q_{\max}$  probable: es el caudal máximo probable hallado a partir de las unidades de consumo y la ecuación presentada por Rodríguez en [3], los diámetros hallados a partir de la ecuación de continuidad, aproximando de acuerdo con los valores comerciales de tubería en PVC

y estableciendo una velocidad de diseño de 2 m/s de acuerdo con la norma Icontec 1500 en [7] y la velocidad real recalculada a partir de la ecuación de continuidad  $V=Q/A$ .

**Tabla 45.** Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Ilusión

Tramo	# Aparatos Sanitarios	Unidades de consumo	Qmax	Diámetro	Diámetro	Diámetro	Velocidad
			probable	mínimo	nominal	efectivo	real
			lps	D (in)	DN (in)	De (m)	Vr (m/s)
<b>LM5-23</b>	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
<b>23-24</b>	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
<b>24-25</b>	3	11	0.6047	0.7725	3/4	0.0236	1.38
<b>LM4-20</b>	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
<b>20-21</b>	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
<b>21-22</b>	3	12	0.6420	0.7959	3/4	0.0236	1.46
<b>22-25</b>	4	16	0.7824	0.8786	1	0.0302	1.09
<b>25-26</b>	7	27	2.5678	1.5918	1 1/2	0.0437	1.71
<b>26-27</b>	8	33	2.7735	1.6543	2	0.0546	1.19
<b>27-28</b>	9	39	2.9572	1.7082	2	0.0546	1.26
<b>28-29</b>	10	45	3.1243	1.7558	2	0.0546	1.34
<b>29-30</b>	11	51	1.7359	1.3088	1 1/4	0.0381	1.52
<b>LM9-1</b>	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
<b>1-2</b>	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
<b>2-3</b>	3	11	0.6047	0.7725	3/4	0.0236	1.38
<b>3-7</b>	4	15	0.7484	0.8594	3/4	0.0236	1.71
<b>LP4-4</b>	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
<b>4-5</b>	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
<b>5-6</b>	3	12	0.6420	0.7959	3/4	0.0236	1.46
<b>6-7</b>	4	16	0.7824	0.8786	1	0.0302	1.09
<b>7-13</b>	8	31	1.2328	1.1029	1	0.0302	1.72
<b>LM8-8</b>	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
<b>8-9</b>	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
<b>9-10</b>	3	12	0.6420	0.7959	3/4	0.0236	1.46
<b>10-11</b>	4	17	2.1499	1.4565	1 1/2	0.0437	1.43
<b>11-12</b>	5	22	2.3736	1.5304	1 1/2	0.0437	1.58
<b>12-13</b>	6	27	1.1211	1.0518	1	0.0302	1.57

**Tabla 45 (continuación).** Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Ilusión

Tramo	# Aparatos Sanitarios	Unidades de consumo	Qmax probable	Diámetro mínimo	Diámetro nominal	Diámetro efectivo	Velocidad real
			lps	D (in)	DN (in)	De (m)	Vr (m/s)
13-19	14	58	1.8964	1.3680	1 1/4	0.0381	1.66
WC6-16	1	6	1.4412	1.1925	1 1/4	0.0381	1.26
16-17	2	12	1.8807	1.3623	1 1/4	0.0381	1.65
17-18	3	18	2.1976	1.4726	1 1/2	0.0437	1.47
WC11-14	1	6	1.4412	1.1925	1 1/4	0.0381	1.26
14-15	2	12	1.8807	1.3623	1 1/4	0.0381	1.65
15-18	3	18	2.1976	1.4726	1 1/2	0.0437	1.47
18-19	6	36	2.8677	1.6822	2	0.0546	1.23
19-30	20	94	2.6430	1.6150	1 1/2	0.0437	1.76
30-M	31	145	3.5606	1.8744	2	0.0546	1.52

*Nota.* Determinación de caudales, velocidades y diámetros utilizando el método de Hunter modificado en donde Qmax probable: es el caudal máximo probable hallado a partir de las unidades de consumo y la ecuación presentada por Rodríguez en [3], los diámetros hallados a partir de la ecuación de continuidad, aproximando de acuerdo con los valores comerciales de tubería en PVC y estableciendo una velocidad de diseño de 2 m/s de acuerdo con la norma Icontec 1500 en [7] y la velocidad real recalculada a partir de la ecuación de continuidad  $V=Q/A$ .

**Tabla 46.** Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Lavandería

Tramo	# Aparatos Sanitarios	Unidades de consumo	Qmax probable	Diámetro mínimo	Diámetro nominal	Diámetro efectivo	Velocidad real
			lps	D (in)	DN (in)	De (m)	Vr (m/s)
PL1-1	1	3	0.2475	0.4942	1/2	0.0182	0.95
PL2-1	1	3	0.2475	0.4942	1/2	0.0182	0.95
1-2	2	6	0.3986	0.6272	3/4	0.0236	0.91
2-6	3	9	0.5268	0.7210	3/4	0.0236	1.20
WC-3	1	3	0.2475	0.4942	1/2	0.0182	0.95

**Tabla 46 (continuación).** Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Lavandería

Tramo	# Aparatos Sanitarios	Unidades de consumo	Qmax probable	Diámetro mínimo	Diámetro nominal	Diámetro efectivo	Velocidad real
			lps	D (in)	DN (in)	De (m)	Vr (m/s)
3-5	2	7	0.4432	0.6613	3/4	0.0236	1.01
LV1-4	1	3	0.2475	0.4942	1/2	0.0182	0.95
LV2-4	1	3	0.2475	0.4942	1/2	0.0182	0.95
4-5	2	6	0.3986	0.6272	3/4	0.0236	0.91
5-6	4	13	0.6783	0.8181	3/4	0.0236	1.55
6-8	7	22	0.9739	0.9803	1	0.0302	1.36
LV3-7	1	3	0.2475	0.4942	1/2	0.0182	0.95
LV4-7	1	3	0.2475	0.4942	1/2	0.0182	0.95
7-8	2	6	0.3986	0.6272	3/4	0.0236	0.91
8-M	9	28	1.1495	1.0650	1	0.0302	1.60

*Nota.* Determinación de caudales, velocidades y diámetros utilizando el método de Hunter modificado en donde Qmax probable: es el caudal máximo probable hallado a partir de las unidades de consumo y la ecuación presentada por Rodríguez en [3], los diámetros hallados a partir de la ecuación de continuidad, aproximando de acuerdo con los valores comerciales de tubería en PVC y estableciendo una velocidad de diseño de 2 m/s de acuerdo con la norma Icontec 1500 en [7] y la velocidad real recalculada a partir de la ecuación de continuidad  $V=Q/A$ .

**Tabla 47.** Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Nupciales

Tramo	# Aparatos Sanitarios	Unidades de consumo	Qmax probable	Diámetro mínimo	Diámetro nominal	Diámetro efectivo	Velocidad real
			lps	D (in)	DN (in)	De (m)	Vr (m/s)
LM2-1	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
1-2	2	7	0.4432	0.6613	3/4	0.0236	1.01
2-4	3	11	0.6047	0.7725	3/4	0.0236	1.38
JAC1-3	1	6	0.3986	0.6272	3/4	0.0236	0.91

**Tabla 47 (continuación).** *Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación Nupciales*

Tramo	# Aparatos Sanitarios	Unidades de consumo	Qmax probable	Diámetro mínimo	Diámetro nominal	Diámetro efectivo	Velocidad real
			lps	D (in)	DN (in)	De (m)	Vr (m/s)
JAC2-3	1	6	0.3986	0.6272	3/4	0.0236	0.91
3-4	2	12	0.6420	0.7959	3/4	0.0236	1.46
4-7	5	23	1.0041	0.9954	1	0.0302	1.40
LM1-5	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
5-6	2	7	0.4432	0.6613	3/4	0.0236	1.01
6-7	3	11	0.6047	0.7725	3/4	0.0236	1.38
7-M	8	34	1.3136	1.1385	1 1/4	0.0381	1.15

*Nota.* Determinación de caudales, velocidades y diámetros utilizando el método de Hunter modificado en donde Qmax probable: es el caudal máximo probable hallado a partir de las unidades de consumo y la ecuación presentada por Rodríguez en [3], los diámetros hallados a partir de la ecuación de continuidad, aproximando de acuerdo con los valores comerciales de tubería en PVC y estableciendo una velocidad de diseño de 2 m/s de acuerdo con la norma Icontec 1500 en [7] y la velocidad real recalculada a partir de la ecuación de continuidad  $V=Q/A$ .

**Tabla 48.** *Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación SPA*

Tramo	# Aparatos Sanitarios	Unidades de consumo	Qmax probable	Diámetro mínimo	Diámetro nominal	Diámetro efectivo	Velocidad real
			lps	D (in)	DN (in)	De (m)	Vr (m/s)
LM5-1	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
1-2	2	7	0.4432	0.6613	3/4	0.0236	1.01
2-5	3	11	0.6047	0.7725	3/4	0.0236	1.38
WC6-3	1	3	0.2475	0.4942	1/2	0.0182	0.95
3-4	2	7	0.4432	0.6613	3/4	0.0236	1.01
4-5	3	11	0.6047	0.7725	3/4	0.0236	1.38
5-8	6	22	0.9739	0.9803	1	0.0302	1.36

**Tabla 48 (continuación).** Pre-dimensionamiento por el método de Hunter modificado a edificación SPA

Tramo	# Aparatos Sanitarios	Unidades de consumo	Qmax probable	Diámetro mínimo	Diámetro nominal	Diámetro efectivo	Velocidad real
			lps	D (in)	DN (in)	De (m)	Vr (m/s)
DCH3-6	1	4	1.2334	1.1032	1	0.0302	1.72
DCH4-6	1	4	1.2334	1.1032	1	0.0302	1.72
6-7	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
7-8	3	14	0.7137	0.8392	3/4	0.0236	1.63
8-11	9	36	1.3663	1.1611	1 1/4	0.0381	1.20
DCH2-9	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
9-10	2	7	0.4432	0.6613	3/4	0.0236	1.01
10-11	3	11	0.6047	0.7725	3/4	0.0236	1.38
11-14	12	47	1.6411	1.2726	1 1/4	0.0381	1.44
LM3-12	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
12-13	2	7	0.4432	0.6613	3/4	0.0236	1.01
13-14	3	11	0.6047	0.7725	3/4	0.0236	1.38
14-15	15	58	1.8964	1.3680	1 1/4	0.0381	1.66
15-16	16	61	1.9633	1.3919	1 1/2	0.0437	1.31
16-27	17	65	2.0510	1.4226	1 1/2	0.0437	1.37
LM9-17	1	4	0.3016	0.5456	1/2	0.0182	1.16
17-18	2	7	0.4432	0.6613	3/4	0.0236	1.01
18-19	3	11	0.6047	0.7725	3/4	0.0236	1.38
19-20	4	15	0.7484	0.8594	3/4	0.0236	1.71
20-21	5	19	0.8805	0.9321	1	0.0302	1.23
21-24	6	22	0.9739	0.9803	1	0.0302	1.36
DCH6-22	1	4	1.2334	1.1032	1	0.0302	1.72
DCH7-22	1	4	1.2334	1.1032	1	0.0302	1.72
22-23	2	8	0.4858	0.6924	3/4	0.0236	1.11
23-24	3	14	0.7137	0.8392	3/4	0.0236	1.63
24-25	9	36	1.3663	1.1611	1 1/4	0.0381	1.20
25-26	10	39	1.4436	1.1935	1 1/4	0.0381	1.26
26-27	11	43	1.5438	1.2342	1 1/4	0.0381	1.35
27-M	28	108	2.9078	1.6939	2	0.0546	1.24

*Nota.* Determinación de caudales, velocidades y diámetros utilizando el método de Hunter modificado en donde Qmax probable: es el caudal máximo probable hallado a partir de las unidades de consumo y la ecuación presentada por Rodríguez en [3], los diámetros hallados a partir de la ecuación de continuidad, aproximando de acuerdo con los valores comerciales de tubería en PVC

y estableciendo una velocidad de diseño de 2 m/s de acuerdo con la norma Icontec 1500 en [7] y la velocidad real recalculada a partir de la ecuación de continuidad  $V=Q/A$ .

**Tabla 49.** Tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación Cabaña

Tramo	Long. Tramo (m)	Accesorios	Cantidad	Diámetro nominal DN (in)	Diámetro efectivo De (m)	Velocidad (m/s)
<b>6-M</b>	5.65	Registro	1	1 1/4	0.03814	1.56
		V. cheque	1	1 1/4		1.56
		Tee p. directo	1	1 1/4		1.56
<b>7-6</b>	3.46	Buje Red.	1	1	0.03020	1.72
		Tee p. directo	1	1		1.72
<b>8-7</b>	7.21	Codo	2	1	0.03020	1.64
		Tee p. directo	1	1		1.64
<b>12-8</b>	2.43	Codo	1	1	0.03020	1.53
		Tee p. directo	1	1		1.53
<b>11-12</b>	5.99	Buje Red.	1	3/4	0.02363	1.63
		Codo	2	3/4		1.63
		Tee p. directo	1	3/4		1.63
<b>10-11</b>	1.72	Codo	1	3/4	0.02363	1.38
		Tee p. directo	1	3/4		1.38
<b>9-10</b>	0.66	Tee p. directo	1	3/4	0.02363	1.01
<b>DCH3-9</b>	3.00	Buje Red.	1	1/2	0.01818	1.16
		Codo	1	1/2		1.16

*Nota.* Estimación de acuerdo con la configuración de la red, la distancia y la presión exigida para su respectivo funcionamiento.

**Tabla 50.** Opción 1 tramo de red hasta el aparato más desfavorable edificación Ensueño

<b>Tramo 1</b>	<b>Long. Tramo (m)</b>	<b>Accesorios</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Diámetro nominal DN (in)</b>	<b>Diámetro efectivo De (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
<b>20-M</b>	0.5	Registro	1	2 1/2	0.06607	1.43
		V. cheque	1	2 1/2		1.43
		Tee p. lateral	1	2 1/2		1.43
<b>19-20</b>	5.38	Buje Red.	1	2	0.05458	1.95
		Tee p. directo	1	2		1.95
<b>53-19</b>	11.4	Codo	2	2	0.05458	1.62
		V. compuerta	1	2		1.62
		Codo	2	2		1.62
		Tee p. directo	1	2		1.62
		Tee p. directo	1	2		1.59
<b>52-53</b>	0.35	Tee p. directo	1	2	0.05458	1.59
<b>51-52</b>	1.41	Tee p. directo	1	2	0.05458	1.57
<b>50-51</b>	13.27	Codo	5	2	0.05458	1.54
		Tee p. lateral	1	2		1.54
<b>46-50</b>	2.52	Tee p. directo	1	2	0.05458	1.43
<b>42-46</b>	3.81	Codo	1	2	0.05458	1.24
		Tee p. lateral	1	2		1.24
<b>36-42</b>	2.09	Buje Red.	1	1 1/2	0.04368	1.61
		Codo	1	1 1/2		1.61
		Tee p. directo	1	1 1/2		1.61
<b>34-36</b>	8.55	Tee p. directo	1	1 1/2	0.04368	1.50
<b>31-34</b>	3.53	Buje Amp.	1	2	0.05458	1.51
		Codo	1	2		1.51
		Tee p. directo	1	2		1.51
<b>30-31</b>	2.1	Codo	1	2	0.05458	1.46
		Tee p. directo	1	2		1.46

**Tabla 50 (continuación).** Opción 1 tramo de red hasta el aparato más desfavorable edificación*Ensueño*

Tramo 1	Long. Tramo (m)	Accesorios	Cantidad	Diámetro nominal DN (in)	Diámetro efectivo De (m)	Velocidad (m/s)
<b>29-30</b>	4.71	Codo	2	2	0.05458	1.41
		V. compuerta	1	2		1.41
		Codo	1	2		1.41
		Tee p. directo	1	2		1.41
<b>27-29</b>	1.82	Codo	3	2	0.05458	1.28
		Tee p. directo	1	2		1.28
<b>26-27</b>	1.1	Tee p. directo	1	2	0.05458	1.20
<b>25-26</b>	1.1	Buje Red.	1	1 1/2	0.04368	1.74
		Tee p. directo	1	1 1/2		1.74
<b>24-25</b>	1.1	Tee p. directo	1	1 1/2	0.04368	1.58
<b>23-24</b>	9.32	Buje Red.	1	1	0.03020	1.09
		Codo	4	1		1.09
		Tee p. directo	1	1		1.09
<b>22-23</b>	1	Buje Red.	1	3/4	0.02363	1.46
		Tee p. directo	1	3/4		1.46
<b>21-22</b>	1	Tee p. directo	1	3/4	0.02363	1.11
<b>LM21-21</b>	0.89	Buje Red.	1	1/2	0.01818	1.16
		Codo	1	1/2		1.16

*Nota.* Estimación de acuerdo con la configuración de la red, la distancia y la presión exigida para su respectivo funcionamiento.

**Tabla 51.** Opción 2 tramo de red hasta el aparato más desfavorable edificación Ensueño

Tramo 2	Long. Tramo (m)	Accesorios	Cantidad	Diámetro nominal DN (in)	Diámetro efectivo De (m)	Velocidad (m/s)
<b>20-M</b>	0.5	Registro	1	2 1/2	0.06607	1.43
		V. cheque	1	2 1/2		1.43
		Tee p. lateral	1	2 1/2		1.43
<b>19-20</b>	5.38	Buje Red.	1	2	0.05458	1.95
		Tee p. lateral	1	2		1.95
<b>18-19</b>	0.73	Buje Red.	1	1 1/4	0.03814	1.48
		Codo	1	1 1/4		1.48
		V. compuerta	1	1 1/4		1.48
		Codo	1	1 1/4		1.48
		Tee p. lateral	1	1 1/4		1.48
<b>14-18</b>	0.78	Tee p. directo	1	1 1/4	0.03814	1.15
<b>13-14</b>	2.07	Buje Red.	1	1	0.03020	1.72
		Codo	1	1		1.72
		Tee p. directo	1	1		1.72
<b>12-13</b>	0.96	Codo	1	1	0.03020	1.57
		Tee p. directo	1	1		1.57
<b>11-12</b>	6.42	Codo	2	1	0.03020	1.48
		Tee p. directo	1	1		1.48
<b>7-11</b>	10.68	Buje Red.	1	3/4	0.02363	1.38
		Codo	4	3/4		1.38
		Tee p. directo	1	3/4		1.38
<b>6-7</b>	1.24	Tee p. directo	1	3/4	0.02363	1.01
<b>DCH6-6</b>	2.15	Buje Red.	1	1/2	0.01818	1.16
		Codo	1	1/2		1.16

*Nota.* Estimación de acuerdo con la configuración de la red, la distancia y la presión exigida para su respectivo funcionamiento.

**Tabla 52.** Opción 3 tramo de red hasta el aparato más desfavorable edificación Ensueño

Tramo 3	Long. Tramo (m)	Accesorios	Cantidad	Diámetro nominal DN (in)	Diámetro efectivo De (m)	Velocidad (m/s)
20-M	0.5	Registro	1	2 1/2	0.06607	1.43
		V. cheque	1	2 1/2		1.43
		Tee p. lateral	1	2 1/2		1.43
5-20	13.18	Buje Red.	1	1	0.03020	1.36
		Codo	3	1		1.36
		V. compuerta	1	1		1.36
		Codo	2	1		1.36
		Tee p. lateral	1	1		1.36
		Tee p. directo	1	1		0.03020
3-4	0.31	Buje Red.	1	3/4	0.02363	1.71
		Tee p. lateral	1	3/4		1.71
2-3	6.01	Codo	1	3/4	0.02363	1.38
		Tee p. lateral	1	3/4		1.38
		Codo	2	3/4		1.38

*Nota.* Estimación de acuerdo con la configuración de la red, la distancia y la presión exigida para su respectivo funcionamiento.

**Tabla 53.** Tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación Fantasía

Tramo	Long. Tramo (m)	Accesorios	Cantidad	Diámetro nominal DN (in)	Diámetro efectivo De (m)	Velocidad (m/s)
48-M	0.5	Registro	1	2 1/2	0.06607	1.42
		V. cheque	1	2 1/2		1.42
		Tee p. lateral	1	2 1/2		1.42
31-48	13.62	Buje Red.	1	2	0.05458	1.53

**Tabla 53 (continuación).** Tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación*Fantasia*

Tramo	Long. Tramo (m)	Accesorios	Cantidad	Diámetro nominal DN (in)	Diámetro efectivo De (m)	Velocidad (m/s)
16-31	2.62	Codo	3	2		1.53
		Buje Red.	1	1 1/2	0.04368	1.38
		Tee p. directo	1	1 1/2		1.38
13-16	4.3	Buje Red.	1	1 1/4	0.03814	1.58
		Tee p. directo	1	1 1/4		1.58
11-13	2.15	Tee p. directo	1	1 1/4	0.03814	1.44
10-11	4.63	Tee p. directo	1	1 1/4	0.03814	1.35
8-10	3.12	Tee p. directo	1	1 1/4	0.03814	1.17
3-8	6.09	Buje Red.	1	3/4	0.02363	1.71
		Tee p. directo	1	3/4		1.71
1-3	16.88	Codo	4	3/4	0.02363	1.01
		Tee p. directo	1	3/4		1.01
LM16-1	0.99	Buje Red.	1	1/2	0.01818	1.16
		Codo	1	1/2		1.16

*Nota.* Estimación de acuerdo con la configuración de la red, la distancia y la presión exigida para su respectivo funcionamiento.

**Tabla 54.** Tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación Hangar

Tramo	Long. Tramo (m)	Accesorios	Cantidad	Diámetro nominal DN (in)	Diámetro efectivo De (m)	Velocidad (m/s)
17-M	0.5	Registro	1	2	0.05458	1.05
		V. cheque	1	2		1.05
		Tee p. lateral	1	2		1.05
16-17	7.62	Codo	1	2	0.05458	1.58

**Tabla 54 (continuación).** *Tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación**Hangar*

Tramo	Long. Tramo (m)	Accesorios	Cantidad	Diámetro nominal DN (in)	Diámetro efectivo De (m)	Velocidad (m/s)
		V. compuerta	1	2		1.58
		Codo	1	2		1.58
		Tee p. lateral	1	2		1.58
<b>15-16</b>	1.93	Codo	1	2	0.05458	1.53
		Tee p. directo	1	2		1.53
<b>14-15</b>	1.46	SemiCodo	2	2	0.05458	1.47
		Tee p. directo	1	2		1.47
<b>13-14</b>	0.8	Tee p. directo	1	2	0.05458	1.42
<b>12-13</b>	0.8	Tee p. directo	1	2	0.05458	1.37
<b>11-12</b>	0.85	Buje Red.	1	1 1/4	0.03814	1.35
		Tee p. directo	1	1 1/4		1.35
<b>10-11</b>	0.6	Tee p. directo	1	1 1/4	0.03814	1.26
<b>9-10</b>	0.6	Tee p. directo	1	1 1/4	0.03814	1.17
<b>8-9</b>	0.6	Tee p. directo	1	1 1/4	0.03814	1.08
<b>7-8</b>	0.57	Buje Amp.	1	1 1/2	0.04368	1.71
		Tee p. directo	1	1 1/2		1.71
<b>6-7</b>	1.78	Tee p. directo	1	1 1/2	0.04368	1.56
<b>5-6</b>	1.04	Tee p. directo	1	1 1/2	0.04368	1.37
<b>4-5</b>	1.04	Tee p. directo	1	1 1/2	0.04368	1.12
<b>LLVE2-4</b>	3.91	Buje Red.	1	1/2	0.01818	0.95
		Codo	2	1/2		0.95

*Nota.* Estimación de acuerdo con la configuración de la red, la distancia y la presión exigida para su respectivo funcionamiento.

**Tabla 55.** Opción 1 tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación Ilusión

<b>Tramo 1</b>	<b>Long. Tramo (m)</b>	<b>Accesorios</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Diámetro nominal DN (in)</b>	<b>Diámetro efectivo De (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
<b>30-M</b>	0.5	Registro	1	2	0.05458	1.52
		V. cheque	1	2		1.52
		Tee p. directo	1	2		1.52
<b>29-30</b>	1	Buje Red.	1	1 1/4	0.03814	1.52
		Codo	1	1 1/4		1.52
		V. compuerta	1	1 1/4		1.52
		Codo	1	1 1/4		1.52
		Tee p. lateral	1	1 1/4		1.52
<b>28-29</b>	0.35	Buje Amp.	1	2	0.05458	1.34
		Tee p. directo	1	2		1.34
<b>27-28</b>	1.05	Tee p. directo	1	2	0.05458	1.26
<b>26-27</b>	1.05	Tee p. directo	1	2	0.05458	1.19
<b>25-26</b>	1.35	Buje Red.	1	1 1/2	0.04368	1.71
		Tee p. lateral	1	1 1/2		1.71
<b>24-25</b>	2.88	Buje Red.	1	3/4	0.02363	1.38
		Tee p. lateral	1	3/4		1.38
<b>23-24</b>	2.63	Codo	1	3/4	0.02363	1.11
		Tee p. lateral	1	3/4		1.11

*Nota.* Estimación de acuerdo con la configuración de la red, la distancia y la presión exigida para su respectivo funcionamiento.

**Tabla 56.** Opción 2 tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación Ilusión

Tramo 2	Long. Tramo (m)	Accesorios	Cantidad	Diámetro nominal DN (in)	Diámetro efectivo De (m)	Velocidad (m/s)
30-M	0.5	Registro	1	2	0.05458	1.52
		V. cheque	1	2		1.52
		Tee p. lateral	1	2		1.52
19-30	4.08	Buje Red.	1	1 1/2	0.04368	1.76
		Tee p. directo	1	1 1/2		1.76
13-19	9.33	Buje Red.	1	1 1/4	0.03814	1.66
		Codo	1	1 1/4		1.66
		Tee p. directo	1	1 1/4		1.66
7-13	36.61	Buje Red.	1	1	0.03020	1.72
		Codo	1	1		1.72
		Tee p. directo	1	1		1.72
3-7	13.87	Buje Red.	1	3/4	0.02363	1.71
		Codo	2	3/4		1.71
		V. compuerta	1	3/4		1.71
		Codo	2	3/4		1.71
		Tee p. directo	1	3/4		1.71
2-3	0.63	Tee p. lateral	1	3/4	0.02363	1.38
1-2	2.03	Tee p. lateral	1	3/4	0.02363	1.11

*Nota.* Estimación de acuerdo con la configuración de la red, la distancia y la presión exigida para su respectivo funcionamiento.

**Tabla 57.** *Tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación Lavandería*

Tramo	Long. Tramo (m)	Accesorios	Cantidad	Diámetro nominal DN (in)	Diámetro efectivo De (m)	Velocidad (m/s)
8-M	7	Registro	1	1	0.03020	1.60
		V. cheque	1	1		1.60
		Tee p. directo	1	1		1.60
6-8	5.14	Codo	1	1	0.03020	1.36
		Tee p. directo	1	1		1.36
2-6	6.74	Buje Red.	1	3/4	0.02363	1.20
		Codo	2	3/4		1.20
		V. compuerta	1	3/4		1.20
		Tee p. directo	1	3/4		1.20
1-2	2.27	Codo	1	3/4	0.02363	0.91
		Tee p. lateral	1	3/4		0.91
PL2-1	2.63	Buje Red.	1	1/2	0.01818	0.95
		Codo	1	1/2		0.95

*Nota.* Estimación de acuerdo con la configuración de la red, la distancia y la presión exigida para su respectivo funcionamiento.

**Tabla 58.** *Tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación Nupciales*

Tramo	Long. Tramo (m)	Accesorios	Cantidad	Diámetro nominal DN (in)	Diámetro efectivo De (m)	Velocidad (m/s)
7-M	8.28	Registro	1	1 1/4	0.03814	1.15
		V. cheque	1	1 1/4		1.15
		Codo	2	1 1/4		1.15
		Tee p. lateral	1	1 1/4		1.15
4-7	0.3	Buje Red.	1	1	0.03020	1.40

**Tabla 58 (continuación).** *Tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación**Nupciales*

Tramo	Long. Tramo (m)	Accesorios	Cantidad	Diámetro nominal DN (in)	Diámetro efectivo De (m)	Velocidad (m/s)
2-4	6.16	Tee p. directo	1	1		1.40
		Buje Red.	1	3/4	0.02363	1.38
		Codo	3	3/4		1.38
		Tee p. lateral	1	3/4		1.38

*Nota.* Estimación de acuerdo con la configuración de la red, la distancia y la presión exigida para su respectivo funcionamiento.

**Tabla 59.** *Opción 1 tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación SPA*

Tramo 1	Long. Tramo (m)	Accesorios	Cantidad	Diámetro nominal DN (in)	Diámetro efectivo De (m)	Velocidad (m/s)
27-M	1.16	Registro	1	2	0.05458	1.24
		V. cheque	1	2		1.24
		Codo	2	2		1.24
		Tee p. lateral	1	2		1.24
16-27	0.63	Buje Red.	1	1 1/2	0.04368	1.37
		Tee p. directo	1	1 1/2		1.37
15-16	0.98	Tee p. directo	1	1 1/2	0.04368	1.31
14-15	4.07	Buje Red.	1	1 1/4	0.03814	1.66
		Codo	2	1 1/4		1.66
		Tee p. directo	1	1 1/4		1.66
11-14	1.25	Tee p. directo	1	1 1/4	0.03814	1.44
8-11	1.8	Tee p. directo	1	1 1/4	0.03814	1.20

**Tabla 59 (continuación).** *Opción 1 tramo de la red hasta el aparato más desfavorable**edificación SPA*

<b>Tramo 1</b>	<b>Long. Tramo</b>	<b>Accesorios</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Diámetro nominal</b>	<b>Diámetro efectivo</b>	<b>Velocidad</b>
	<b>(m)</b>			<b>DN (in)</b>	<b>De (m)</b>	<b>(m/s)</b>
<b>5-8</b>	6.29	Buje Red.	1	1	0.03020	1.36
		Tee p. lateral	1	1		1.36
<b>2-5</b>	4.54	Buje Red.	1	3/4	0.02363	1.38
		Codo	1	3/4		1.38
		Tee p. directo	1	3/4		1.38

*Nota.* Estimación de acuerdo con la configuración de la red, la distancia y la presión exigida para su respectivo funcionamiento.

**Tabla 60.** *Opción 2 tramo de la red hasta el aparato más desfavorable edificación SPA*

<b>Tramo 2</b>	<b>Long. Tramo</b>	<b>Accesorios</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Diámetro nominal</b>	<b>Diámetro efectivo</b>	<b>Velocidad</b>
	<b>(m)</b>			<b>DN (in)</b>	<b>De (m)</b>	<b>(m/s)</b>
<b>27-M</b>	1.16	Registro	1	2	0.05458	1.24
		V. cheque	1	2		1.24
		Codo	2	2		1.24
		Tee p. lateral	1	2		1.24
<b>26-27</b>	0.63	Buje Red.	1	1 1/4	0.03814	1.35
		Tee p. directo	1	1 1/4		1.35
<b>25-26</b>	0.98	Tee p. directo	1	1 1/4	0.03814	1.26
<b>24-25</b>	7.14	Codo	2	1 1/4	0.03814	1.20
		Tee p. directo	1	1 1/4		1.20
<b>21-24</b>	3.22	Buje Red.	1	1	0.03020	1.36
		Codo	1	1		1.36
		Tee p. directo	1	1		1.36
<b>20-21</b>	0.2	Tee p. directo	1	1	0.03020	1.23
<b>19-20</b>	2.01	Buje Red.	1	3/4	0.02363	1.71

**Tabla 60 (continuación).** Opción 2 tramo de la red hasta el aparato más desfavorable

edificación SPA

Tramo 2	Long. Tramo (m)	Accesorios	Cantidad	Diámetro nominal DN (in)	Diámetro efectivo De (m)	Velocidad (m/s)
		Codo	2	3/4		1.71
		Tee p. directo	1	3/4		1.71
<b>18-19</b>	2.26	Codo	2	3/4	0.02363	1.38
		Tee p. directo	1	3/4		1.38
<b>17-18</b>	1.3	Codo	1	3/4	0.02363	1.01
		Tee p. lateral	1	3/4		1.01
<b>LM9-17</b>	4.7	Buje Red.	1	1/2	0.01818	1.16
		Codo	4	1/2		1.16

*Nota.* Estimación de acuerdo con la configuración de la red, la distancia y la presión exigida para su respectivo funcionamiento.

**Tabla 61.** Pérdidas por fricción y accesorios en edificación Cabaña

Tramo	Accesorios	#RE	Pérdida fricción hf (m)	Factor de fricción fT	Long. Equiv. En diámetros Le/D	Coefficiente resistencia K	Pérdida accesorios hl (m)
<b>6-M</b>	Registro	45772.59	0.4131	0.022	3	0.066	0.0082
	V. cheque			0.022	100	2.2	0.2740
	Tee p. directo			0.022	20	0.44	0.0548
<b>7-6</b>	Buje Red.	39980.73	0.4000	0.023		0.1	0.0152
	Tee p. directo			0.023	20	0.46	0.0697
<b>8-7</b>	Codo	38188.99	0.7678	0.023	30	0.69	0.1908
	Tee p. directo			0.023	20	0.46	0.0636
<b>12-8</b>	Codo	35426.95	0.2262	0.023	30	0.69	0.0821
	Tee p. directo			0.023	20	0.46	0.0547

**Tabla 61 (continuación).** *Pérdidas por fricción y accesorios en edificación Cabaña*

Tramo	Accesorios	#RE	Pérdida fricción hf (m)	Factor de fricción fT	Long. Equiv. En diámetros Le/D	Coefficiente resistencia K	Pérdida accesorios hl (m)
<b>11-12</b>	Buje Red.	29583.24	0.8431	0.025		0.11	0.0149
	Codo			0.025	30	0.75	0.2033
	Tee p. directo			0.025	20	0.5	0.0678
<b>10-11</b>	Codo	25063.41	0.1799	0.025	30	0.75	0.0730
	Tee p. directo			0.025	20	0.5	0.0486
<b>9-10</b>	Tee p. directo	18369.09	0.0396	0.025	20	0.5	0.0261
<b>DCH3-9</b>	Buje Red.	16250.58	0.3173	0.027		0.12	0.0083
	Codo			0.027	30	0.81	0.0560
<b>Total</b>			<b>3.1871</b>			<b>Total</b>	<b>1.3111</b>

*Nota.* Para las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación deducida por Rodríguez en [3] obtenida para tubería PVC y la pérdida por accesorios fue calculada mediante el uso de la tabla de longitudes equivalentes presentadas en [3].

**Tabla 62.** Opción 1 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación Ensueño

Tramo 1	Accesorios	#RE	Pérdida fricción hf (m)	Factor de fricción fT	Long. Equiv. En diámetros Le/D	Coefficiente resistencia K	Pérdida accesorios hl (m)
<b>20-M</b>	Registro	72481.98	0.0160	0.018	3	0.054	0.0056
	V. cheque			0.018	100	1.8	0.1873
	Tee p. lateral			0.018	60	1.08	0.1124
<b>19-20</b>	Buje Red.	81880.69	0.3801	0.019		0.08	0.0156
	Tee p. directo			0.019	20	0.38	0.0740
<b>53-19</b>	Codo	68072.78	0.5788	0.019	30	0.57	0.1533
	V. compuerta			0.019	9	0.171	0.0230
	Codo			0.019	30	0.57	0.1533
	Tee p. directo			0.019	20	0.38	0.0511
<b>52-53</b>	Tee p. directo	66890.74	0.0172	0.019	20	0.38	0.0494
<b>51-52</b>	Tee p. directo	65997.95	0.0677	0.019	20	0.38	0.0480
<b>50-51</b>	Codo	64798.94	0.6168	0.019	30	0.57	0.3474
	Tee p. lateral			0.019	60	1.14	0.1390
<b>46-50</b>	Tee p. directo	59897.34	0.1018	0.019	20	0.38	0.0396
<b>42-46</b>	Codo	52178.52	0.1202	0.019	30	0.57	0.0450
	Tee p. lateral			0.019	60	1.14	0.0901
<b>36-42</b>	Buje Red.	53952.41	0.1365	0.021		0.1	0.0132
	Codo			0.021	30	0.63	0.0831
	Tee p. directo			0.021	20	0.42	0.0554
<b>34-36</b>	Tee p. directo	50275.99	0.4923	0.021	20	0.42	0.0481
<b>31-34</b>	Buje Amp.	63405.97	0.1578	0.019		0.14	0.0163
	Codo			0.019	30	0.57	0.0665
	Tee p. directo			0.019	20	0.38	0.0443
<b>30-31</b>	Codo	61391.42	0.0886	0.019	30	0.57	0.0624
	Tee p. directo			0.019	20	0.38	0.0416

**Tabla 62 (continuación).** Opción 1 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación Ensueño

Tramo 1	Accesorios	#RE	Pérdida fricción hf (m)	Factor de fricción fT	Long. Equiv. En diámetros Le/D	Coefficiente resistencia K	Pérdida accesorios hl (m)
29-30	Codo	59264.82	0.1866	0.019	30	0.57	0.0581
	Codo			0.019	30	0.57	0.1162
	V. compuerta			0.019	9	0.171	0.0174
27-29	Tee p. directo	53584.94	0.0602	0.019	20	0.38	0.0387
	Codo			0.019	30	0.57	0.1425
26-27	Tee p. directo	50343.06	0.0325	0.019	20	0.38	0.0280
	Tee p. directo			0.021		0.1	0.0155
25-26	Buje Red.	58386.35	0.0828	0.021		0.1	0.0155
	Tee p. directo			0.021	20	0.42	0.0649
24-25	Tee p. directo	53222.21	0.0701	0.021	20	0.42	0.0539
23-24	Buje Red.	25373.01	0.4774	0.023		0.19	0.0116
	Codo			0.023	30	0.69	0.1685
	Tee p. directo			0.023	20	0.46	0.0281
22-23	Buje Red.	26608.47	0.1164	0.025		0.11	0.0121
	Tee p. directo			0.025	20	0.5	0.0548
21-22	Tee p. directo	20135.25	0.0707	0.025	20	0.5	0.0314
LM21-21	Buje Red.	16250.58	0.0941	0.027		0.12	0.0083
	Codo			0.027	30	0.81	0.0560
<b>Total</b>			<b>3.9648</b>			<b>Total</b>	<b>2.9027</b>

*Nota.* Para las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación deducida por Rodríguez en [3] obtenida para tubería PVC y la pérdida por accesorios fue calculada mediante el uso de la tabla de longitudes equivalentes presentadas en [3].

**Tabla 63.** Opción 2 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación Ensueño

Tramo 2	Accesorios	#RE	Pérdida fricción hf (m)	Factor de fricción fT	Long. Equiv. En diámetros Le/D	Coefficiente resistencia K	Pérdida accesorios hl (m)
<b>20-M</b>	Registro	72481.98	0.0160	0.018	3	0.054	0.0056
	V. cheque			0.018	100	1.8	0.1873
	Tee p. lateral			0.018	60	1.08	0.1124
<b>19-20</b>	Buje Red.	81880.69	0.3801	0.019		0.08	0.0156
	Tee p. lateral			0.019	60	1.14	0.2219
<b>18-19</b>	Buje Red.	43368.62	0.0485	0.022		0.18	0.0201
	Codo			0.022	30	0.66	0.0738
	V. compuerta			0.022	9	0.198	0.0221
	Codo			0.022	30	0.66	0.0738
	Tee p. lateral			0.022	60	1.32	0.1476
	Tee p. directo			0.022	20	0.44	0.0298
<b>14-18</b>	Buje Red.	33733.20	0.0330	0.023		0.14	0.0212
	Codo			0.023	30	0.69	0.1046
	Tee p. directo			0.023	20	0.46	0.0697
<b>13-14</b>	Codo	39980.73	0.2393	0.023	30	0.69	0.1046
	Tee p. directo			0.023	20	0.46	0.0697
<b>12-13</b>	Codo	36358.18	0.0936	0.023	30	0.69	0.0865
	Tee p. directo			0.023	20	0.46	0.0577
<b>11-12</b>	Codo	34484.45	0.5696	0.023	30	0.69	0.1556
	Tee p. directo			0.023	20	0.46	0.0519
<b>7-11</b>	Buje Red.	25063.41	1.1172	0.025		0.11	0.0107
	Codo			0.025	30	0.75	0.2919
	Tee p. directo			0.025	20	0.5	0.0486
<b>6-7</b>	Tee p. directo	18369.09	0.0744	0.025	20	0.5	0.0261
<b>DCH6-6</b>	Buje Red.	16250.58	0.2274	0.027		0.12	0.0083
	Codo			0.027	30	0.81	0.0560
<b>Total</b>			<b>2.7991</b>			<b>Total</b>	<b>1.8987</b>

*Nota.* Para las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación deducida por Rodríguez en [3] obtenida para tubería PVC y la pérdida por accesorios fue calculada mediante el uso de la tabla de longitudes equivalentes presentadas en [3].

**Tabla 64.** Opción 3 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación Ensueño

Tramo 3	Accesorios	#RE	Pérdida fricción hf (m)	Factor de fricción fT	Long. Equiv. En diámetros Le/D	Coefficiente resistencia K	Pérdida accesorios hl (m)
<b>20-M</b>	Registro	72481.98	0.0160	0.018	3	0.054	0.0056
	V. cheque			0.018	100	1.8	0.1873
	Tee p. lateral			0.018	60	1.08	0.1124
<b>5-20</b>	Buje Red.	31583.13	0.9991	0.023		0.4	0.0378
	Codo			0.023	30	0.69	0.1958
	V. compuerta			0.023	9	0.207	0.0196
	Codo			0.023	30	0.69	0.1305
	Tee p. lateral			0.023	60	1.38	0.1305
<b>4-5</b>	Tee p. directo	27513.09	0.0870	0.023	20	0.46	0.0330
<b>3-4</b>	Buje Red.	31020.26	0.0475	0.025		0.11	0.0164
	Tee p. lateral			0.025	60	1.5	0.2235
<b>2-3</b>	Codo	25063.41	0.6287	0.025	30	0.75	0.0730
	Tee p. lateral			0.025	60	1.5	0.1459
	Codo			0.025	30	0.75	0.1459
<b>Total</b>			<b>1.7783</b>			<b>Total</b>	<b>1.4573</b>

*Nota.* Para las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación deducida por Rodríguez en [3] obtenida para tubería PVC y la pérdida por accesorios fue calculada mediante el uso de la tabla de longitudes equivalentes presentadas en [3].

**Tabla 65.** Pérdidas por fricción y accesorios en edificación Fantasía

Tramo	Accesorios	#RE	Pérdida fricción hf (m)	Factor de fricción fT	Long. Equiv. En diámetros Le/D	Coefficiente resistencia K	Pérdida accesorios hl (m)
<b>48-M</b>	Registro	72048.07	0.0158	0.018	3	0.054	0.0056
	V. cheque			0.018	100	1.8	0.1851
	Tee p. lateral			0.018	60	1.08	0.1111
<b>31-48</b>	Buje Red.	64195.64	0.6226	0.019		0.08	0.0096
	Codo			0.019	30	0.57	0.2046
<b>16-31</b>	Buje Red.	46472.96	0.1310	0.021		0.1	0.0098
	Tee p. directo			0.021	20	0.42	0.0411
<b>13-16</b>	Buje Red.	46364.60	0.3217	0.022		0.06	0.0077
	Tee p. directo			0.022	20	0.44	0.0562
<b>11-13</b>	Tee p. directo	42143.74	0.1356	0.022	20	0.44	0.0465
<b>10-11</b>	Tee p. directo	39643.81	0.2617	0.022	20	0.44	0.0411
<b>8-10</b>	Tee p. directo	34412.21	0.1369	0.022	20	0.44	0.0310
<b>3-8</b>	Buje Red.	31020.26	0.9331	0.025		0.26	0.0387
	Tee p. directo			0.025	20	0.5	0.0745
<b>1-3</b>	Codo	18369.09	1.0125	0.025	30	0.75	0.1568
	Tee p. directo			0.025	20	0.5	0.0261
<b>LM16-1</b>	Buje Red.	16250.58	0.1047	0.027		0.12	0.0083
	Codo			0.027	30	0.81	0.0560
<b>Total</b>			<b>3.6757</b>			<b>Total</b>	<b>1.1096</b>

*Nota.* Para las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación deducida por Rodríguez en [3] obtenida para tubería PVC y la pérdida por accesorios fue calculada mediante el uso de la tabla de longitudes equivalentes presentadas en [3].

**Tabla 66.** Pérdidas por fricción y accesorios en edificación Hangar

Tramo	Accesorios	#RE	Pérdida fricción hf (m)	Factor de fricción fT	Long. Equiv. En diámetros Le/D	Coefficiente resistencia K	Pérdida accesorios hl (m)
17-M	Registro	44257.66	0.0117	0.019	3	0.057	0.0032
	V. cheque			0.019	100	1.9	0.1080
	Tee p. lateral			0.019	60	1.14	0.0648
16-17	Codo	66430.78	0.3703	0.019	30	0.57	0.0730
	V. compuerta			0.019	9	0.171	0.0219
	Codo			0.019	30	0.57	0.0730
15-16	Tee p. lateral	64183.71	0.0882	0.019	60	1.14	0.1460
	Codo			0.019	30	0.57	0.0682
14-15	Tee p. directo	61802.79	0.0623	0.019	20	0.38	0.0454
	SemiCodo			0.019	16	0.304	0.0674
13-14	Tee p. directo	59699.91	0.0321	0.019	20	0.38	0.0393
	Tee p. directo			0.019	20	0.38	0.0421
12-13	Tee p. directo	57470.95	0.0300	0.019	20	0.38	0.0364
	Tee p. directo			0.019	20	0.38	0.0364
11-12	Buje Red.	39643.81	0.0480	0.022		0.18	0.0168
	Tee p. directo			0.022	20	0.44	0.0411
10-11	Tee p. directo	37070.01	0.0301	0.022	20	0.44	0.0359
	Tee p. directo			0.022	20	0.44	0.0310
9-10	Tee p. directo	34412.21	0.0263	0.022	20	0.44	0.0310
	Tee p. directo			0.022	20	0.44	0.0262
8-9	Tee p. directo	31657.52	0.0227	0.022	20	0.44	0.0262
	Tee p. directo			0.022	20	0.44	0.0262
7-8	Buje Amp.	57576.64	0.0418	0.021		0.08	0.0120
	Tee p. directo			0.021	20	0.42	0.0631
6-7	Tee p. directo	52279.91	0.1099	0.021	20	0.42	0.0520
	Tee p. directo			0.021	20	0.42	0.0520
5-6	Tee p. directo	45943.24	0.0510	0.021	20	0.42	0.0402
	Tee p. directo			0.021	20	0.42	0.0402
4-5	Tee p. directo	37759.98	0.0359	0.021	20	0.42	0.0271
	Tee p. directo			0.021	20	0.42	0.0271
LLVE2-4	Buje Red.	13334.40	0.2903	0.027		0.41	0.0191
	Codo			0.027	30	0.81	0.0754
<b>Total</b>			<b>1.2507</b>			<b>Total</b>	<b>1.2289</b>

**Tabla 67.** Opción 1 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación Ilusión

Tramo 1	Accesorios	#RE	Pérdida fricción hf (m)	Factor de fricción fT	Long. Equiv. En diámetros Le/D	Coefficiente resistencia K	Pérdida accesorios hl (m)
<b>30-M</b>	Registro	63893.03	0.0227	0.019	3	0.057	0.0068
	V. cheque			0.019	100	1.9	0.2252
	Tee p. directo			0.019	20	0.38	0.0450
<b>29-30</b>	Buje Red.	44577.97	0.0697	0.022		0.18	0.0213
	Codo			0.022	30	0.66	0.0780
	V. compuerta			0.022	9	0.198	0.0234
	Codo			0.022	30	0.66	0.0780
<b>28-29</b>	Tee p. lateral	56064.16		0.022	60	1.32	0.1559
	Buje Amp.		0.0126	0.019		0.28	0.0255
<b>27-28</b>	Tee p. directo	53066.51		0.019	20	0.38	0.0347
	Tee p. directo		0.0341	0.019	20	0.38	0.0311
<b>26-27</b>	Tee p. directo	49769.25	0.0304	0.019	20	0.38	0.0273
<b>25-26</b>	Buje Red.	57576.64	0.0991	0.021		0.1	0.0150
	Tee p. lateral			0.021	60	1.26	0.1893
<b>24-25</b>	Buje Red.	25063.41	0.3013	0.025		0.35	0.0340
	Tee p. lateral			0.025	60	1.5	0.1459
<b>23-24</b>	Codo	20135.25	0.1859	0.025	30	0.75	0.0471
	Tee p. lateral			0.025	60	1.5	0.0942
<b>Total</b>			<b>0.7558</b>			<b>Total</b>	<b>1.2777</b>

*Nota.* Para las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación deducida por Rodríguez en [3] obtenida para tubería PVC y la pérdida por accesorios fue calculada mediante el uso de la tabla de longitudes equivalentes presentadas en [3].

**Tabla 68.** Opción 2 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación Ilusión

Tramo 2	Accesorios	#RE	Pérdida fricción hf (m)	Factor de fricción fT	Long. Equiv. En diámetros Le/D	Coefficiente resistencia K	Pérdida accesorios hl (m)
<b>30-M</b>	Registro	63893.03	0.0227	0.019	3	0.057	0.0068
	V. cheque			0.019	100	1.9	0.2252
	Tee p. lateral			0.019	60	1.14	0.1351
<b>19-30</b>	Buje Red.	59263.77	0.3153	0.021		0.1	0.0159
	Tee p. directo			0.021	20	0.42	0.0669
<b>13-19</b>	Buje Red.	48699.28	0.7622	0.022		0.06	0.0085
	Codo			0.022	30	0.66	0.0930
	Tee p. directo			0.022	20	0.44	0.0620
<b>7-13</b>	Buje Red.	39980.73	4.2322	0.023		0.1	0.0152
	Codo			0.023	30	0.69	0.1046
	Tee p. directo			0.023	20	0.46	0.0697
<b>3-7</b>	Buje Red.	31020.26	2.1252	0.025		0.11	0.0164
	Codo			0.025	30	0.75	0.2235
	V. compuerta			0.025	9	0.225	0.0335
	Codo			0.025	30	0.75	0.2235
	Tee p. directo			0.025	20	0.5	0.0745
<b>2-3</b>	Tee p. lateral	25063.41	0.0659	0.025	60	1.5	0.1459
<b>1-2</b>	Tee p. lateral	20135.25	0.1435	0.025	60	1.5	0.0942
<b>Total</b>			<b>7.6671</b>			<b>Total</b>	<b>1.6144</b>

*Nota.* Para las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación deducida por Rodríguez en [3] obtenida para tubería PVC y la pérdida por accesorios fue calculada mediante el uso de la tabla de longitudes equivalentes presentadas en [3].

**Tabla 69.** *Pérdidas por fricción y accesorios en edificación Lavandería*

Tramo	Accesorios	#RE	Pérdida fricción	Factor de fricción	Long. Equiv. En diámetros	Coefficiente resistencia	Pérdida accesorios
			hf (m)	fT	Le/D	K	hl (m)
<b>8-M</b>	Registro	37278.69	0.7139	0.023	3	0.069	0.0091
	V. cheque			0.023	100	2.3	0.3031
	Tee p. directo			0.023	20	0.46	0.0606
<b>6-8</b>	Codo	31583.13	0.3896	0.023	30	0.69	0.0653
	Tee p. directo			0.023	20	0.46	0.0435
<b>2-6</b>	Buje Red.	21833.56	0.5508	0.025		0.11	0.0081
	Codo			0.025	30	0.75	0.1107
	V. compuerta			0.025	9	0.225	0.0166
	Tee p. directo			0.025	20	0.5	0.0369
<b>1-2</b>	Codo	16521.97	0.1126	0.025	30	0.75	0.0317
	Tee p. lateral			0.025	60	1.5	0.0634
<b>PL2-1</b>	Buje Red.	13334.40	0.1952	0.027		0.12	0.0056
	Codo			0.027	30	0.81	0.0377
<b>Total</b>			<b>1.9622</b>			<b>Total</b>	<b>0.7923</b>

*Nota.* Para las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación deducida por Rodríguez en [3] obtenida para tubería PVC y la pérdida por accesorios fue calculada mediante el uso de la tabla de longitudes equivalentes presentadas en [3].

**Tabla 70.** *Pérdidas por fricción y accesorios en edificación Nupciales*

Tramo	Accesorios	#RE	Pérdida fricción	Factor de fricción	Long. Equiv. En diámetros	Coefficiente resistencia	Pérdida accesorios
			hf (m)	fT	Le/D	K	hl (m)
<b>7-M</b>	Registro	33733.20	0.3506	0.022	3	0.066	0.0045
	V. cheque			0.022	100	2.2	0.1488
	Codo			0.022	30	0.66	0.0893

**Tabla 70 (continuación).** *Pérdidas por fricción y accesorios en edificación Nupciales*

Tramo	Accesorios	#RE	Pérdida fricción	Factor de fricción	Long. Equiv. En diámetros	Coefficiente resistencia	Pérdida accesorios
			hf (m)	fT	Le/D	K	hl (m)
4-7	Tee p. lateral	32563.23	0.0240	0.022	60	1.32	0.0893
	Buje Red.			0.023		0.1	0.0101
2-4	Tee p. directo	25063.41	0.6444	0.023	20	0.46	0.0462
	Buje Red.			0.025		0.11	0.0107
	Codo			0.025	30	0.75	0.2189
	Tee p. lateral			0.025	60	1.5	0.1459
<b>Total</b>			<b>1.0190</b>			<b>Total</b>	<b>0.7637</b>

*Nota.* Para las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación deducida por Rodríguez en [3] obtenida para tubería PVC y la pérdida por accesorios fue calculada mediante el uso de la tabla de longitudes equivalentes presentadas en [3].

**Tabla 71.** *Opción 1 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación SPA*

Tramo 1	Accesorios	#RE	Pérdida fricción	Factor de fricción	Long. Equiv. En diámetros	Coefficiente resistencia	Pérdida accesorios
			hf (m)	fT	Le/D	K	hl (m)
27-M	Registro	52178.52	0.0366	0.019	3	0.057	0.0045
	V. cheque			0.019	100	1.9	0.1502
	Codo			0.019	30	0.57	0.0901
	Tee p. lateral			0.019	60	1.14	0.0901
16-27	Buje Red.	45987.71	0.0309	0.021	0	0.1	0.0096
	Tee p. directo			0.021	20	0.42	0.0403
15-16	Tee p. directo	44022.85	0.0445	0.021	20	0.42	0.0369
14-15	Buje Red.	48699.28	0.3325	0.022	0	0.06	0.0085

**Tabla 71 (continuación).** Opción 1 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación SPA

Tramo 1	Accesorios	#RE	Pérdida fricción	Factor de fricción	Long. Equiv. En diámetros	Coefficiente resistencia	Pérdida accesorios
			hf (m)	fT	Le/D	K	hl (m)
	Codo			0.022	30	0.66	0.1861
	Tee p. directo			0.022	20	0.44	0.0620
<b>11-14</b>	Tee p. directo	42143.74	0.0788	0.022	20	0.44	0.0465
<b>8-11</b>	Tee p. directo	35085.18	0.0818	0.022	20	0.44	0.0322
<b>5-8</b>	Buje Red.	31583.13	0.4768	0.023	0	0.1	0.0095
	Tee p. lateral			0.023	60	1.38	0.1305
<b>2-5</b>	Buje Red.	25063.41	0.4749	0.025	0	0.11	0.0107
	Codo			0.025	30	0.75	0.0730
	Tee p. directo			0.025	20	0.5	0.0486
<b>Total</b>			<b>1.5568</b>			<b>Total</b>	<b>1.0291</b>

*Nota.* Para las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación deducida por Rodríguez en [3] obtenida para tubería PVC y la pérdida por accesorios fue calculada mediante el uso de la tabla de longitudes equivalentes presentadas en [3].

**Tabla 72.** Opción 2 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación SPA

Tramo 2	Accesorios	#RE	Pérdida fricción	Factor de fricción	Long. Equiv. En diámetros	Coefficiente resistencia	Pérdida accesorios
			hf (m)	fT	Le/D	K	hl (m)
<b>27-M</b>	Registro	52178.52	0.0366	0.019	3	0.057	0.0045
	V. cheque			0.019	100	1.9	0.1502
	Codo			0.019	30	0.57	0.0901
	Tee p. lateral			0.019	60	1.14	0.0901
<b>26-27</b>	Buje Red.	39643.81	0.0356	0.022	0	0.18	0.0168
	Tee p. directo			0.022	20	0.44	0.0411

**Tabla 72 (continuación).** Opción 2 de pérdidas por fricción y accesorios en edificación SPA

Tramo 2	Accesorios	#RE	Pérdida fricción	Factor de fricción	Long. Equiv. En diámetros	Coefficiente resistencia	Pérdida accesorios
			hf (m)	fT	Le/D	K	hl (m)
25-26	Tee p. directo	37070.01	0.0491	0.022	20	0.44	0.0359
24-25	Codo	35085.18	0.3243	0.022	30	0.66	0.0966
	Tee p. directo			0.022	20	0.44	0.0322
21-24	Buje Red.	31583.13	0.2441	0.023	0	0.1	0.0095
	Codo			0.023	30	0.69	0.0653
	Tee p. directo			0.023	20	0.46	0.0435
20-21	Tee p. directo	28555.03	0.0127	0.023	20	0.46	0.0356
19-20	Buje Red.	31020.26	0.3080	0.025	0	0.11	0.0164
	Codo			0.025	30	0.75	0.2235
	Tee p. directo			0.025	20	0.5	0.0745
18-19	Codo	25063.41	0.2364	0.025	30	0.75	0.1459
	Tee p. directo			0.025	20	0.5	0.0486
17-18	Codo	18369.09	0.0780	0.025	30	0.75	0.0392
	Tee p. lateral			0.025	60	1.5	0.0784
LM9-17	Buje Red.	16250.58	0.4971	0.027	0	0.12	0.0083
	Codo			0.027	30	0.81	0.2239
<b>Total</b>			<b>1.8219</b>			<b>Total</b>	<b>1.5700</b>

*Nota.* Para las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación deducida por Rodríguez en [3] obtenida para tubería PVC y la pérdida por accesorios fue calculada mediante el uso de la tabla de longitudes equivalentes presentadas en [3].