

CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y CÁLCULO DE LAS INSTALACIONES  
HIDRÁULICAS EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

CAROLINA IVON VARGAS RAMÍREZ.

Tesis para optar el título de Especialización en Recursos Hidráulicos y Medio  
Ambiente

Director

Ingeniero Héctor Alfonso Rodríguez Díaz

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO.  
ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE  
COLOMBIA.

2016.

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Director Tesis de grado  
Ingeniero Héctor Alfonso Rodríguez Díaz

Bogotá, Colombia 2016

*Dedicada a mi hija Vivian Salomé,  
quien con su llegada a mi mundo abrió  
nuevos horizontes, sueños y metas a mi vida;  
Su ternura y personalidad se han convertido  
en el motor para iniciar una nueva etapa  
llena de amor, felicidad y prosperidad.*

*A mi madre María Gladys por su  
amor, esfuerzo y apoyo incondicional, que me  
han permitido desarrollarme personal y  
profesionalmente, logrando alcanzar cada  
meta que me he propuesto en la vida.*

## *Agradecimientos*

*En primer lugar agradezco a Dios por las aptitudes y dones otorgados, las oportunidades que me ha brindado y su rotunda y tangible presencia en mi vida.*

*A mi familia quienes siempre me han apoyado, comprendido y aceptado. Siempre he contado con su cariño que me proporciona las fuerzas cuando han faltado.*

*A mi Amiga Martha C. por Motivarme con sus consejos oportunos a mejorarme profesionalmente. Proyectándonos siempre a avanzar.*

*Al Ingeniero Héctor Alfonso por brindarme su conocimiento, guiarme y exigirme durante todo el proceso para lograr el presente trabajo.*

## Tabla de contenido

<b>Antecedentes</b>	<b>1</b>
Historia de los acueductos en el mundo	1
Historia de los acueductos en Colombia	7
Del modelo descentralizado a la intervención estatal (1936 - 1950)	8
Provisión directa de los servicios a través del insfopal	9
Descentralización y orientación comercial	13
Historia De Los Acueductos En Bogotá	15
<b>Generalidades y normatividad de las redes de distribución de agua potable en Bogotá y Colombia</b>	<b>20</b>
Generalidades y normatividad para el diseño y construcción de una red externa de agua potable	20
Captación	20
Bombeo y almacenamiento	21
Red de distribución, aducción y conducción	21
Tratamiento de potabilización	22
Generalidades y normatividad para el diseño y construcción de una red interna de agua potable	23
Tipos de edificación	24
Tipos de abastecimiento de una red	26
Aparatos sanitarios presentes en una red	34
Caudal mínimo requerido	35
Presión mínima requerida	35
Demanda del suministro de agua (unidad de consumo)	37
Tubería para la red de suministro de agua potable en una edificación	39
<i>Tubería PVC/CPVC.</i>	39
<i>Características de la tubería pvc/cpvc</i>	42
<i>Tubería de polietileno</i>	44
<i>Tubería de hierro galvanizado</i>	46
Accesorios de una red de distribución	48
<i>Unión soldada</i>	48
<i>Unión mecánica</i>	48
Dispositivos de control	49
<i>Silla o collar de derivación</i>	50
<i>Registro de incorporación, corte y usuario</i>	51
<i>Válvula de compuerta</i>	57
<i>Válvulas de retención o cheque</i>	57
Medidores	59
Acometida	63
Tanque de almacenamiento	73
<b>Trazado de la red</b>	<b>82</b>
Información del proyecto	82
Descripción	82
Planos	82
Tipo de redes	85

Redes abiertas _____	85
Redes cerradas _____	85
<b>Trazado en planta _____</b>	<b>86</b>
Edificios con un solo régimen funcional o titular _____	88
Edificios con más de un régimen funcional o titular _____	89
<b>Trazado en perfil _____</b>	<b>91</b>
Edificios con un solo régimen funcional o titular _____	92
Edificios con más de un régimen funcional o titular _____	92
Montantes individuales por unidad _____	92
Montante compartido por las unidades _____	92
<b>Pasos para el trazado de una red _____</b>	<b>93</b>
<b>Vista isométrica de una red _____</b>	<b>101</b>
Edificios con un solo régimen funcional o titular _____	103
Edificios con más de un régimen funcional o titular _____	103
<b><i>Diseño y cálculo de la red de distribución de agua potable en una edificación. Conceptos teóricos</i> _____</b>	<b>104</b>
Estimación de caudales _____	105
Caudal máximo posible _____	105
Caudal máximo probable _____	105
Cálculo altura dinámica total _____	115
Cálculo de pérdidas por fricción _____	118
Fórmula de darcy-weisbach _____	119
Fórmula de hazen-williams _____	121
Fórmula de Rodríguez Díaz _____	122
Cálculo de pérdidas locales o por accesorios _____	123
Longitud equivalente _____	124
<b><i>Cálculo del sistema de suministro para una red de distribución de agua potable en una edificación. Conceptos teóricos</i> _____</b>	<b>126</b>
Cálculo de la acometida de acueducto _____	126
Tanque de almacenamiento _____	127
Volumen del tanque de almacenamiento _____	129
Tuberías del tanque de almacenamiento _____	131
Sistema de bombeo _____	138
Ciclos de bombeo _____	139
Tiempo $t_1$ de reposición del volumen de reserva del tanque hidroneumático _____	140
Tiempo $t_2$ que tarda en consumirse el volumen de reserva A _____	141
Tiempo $T$ entre arrancadas _____	141
Valor $T$ más desfavorable _____	141
Valor del volumen de reserva (tanque hidroneumático) _____	144
Selección del sistema hidroneumático _____	148
<b><i>Ejemplo de diseño para una red de suministro utilizando epanet</i> _____</b>	<b>150</b>

<b>Traslado del isométrico desde AutoCAD a epanet utilizando EpaCAD</b>	<b>151</b>
Pasos para el traslado	151
<b>Incorporación de datos en epanet</b>	<b>154</b>
Incorporación de los caudales en epanet	158
Diámetro de la tubería, coeficiente de fricción y coeficiente de accesorios	161
Condiciones en el inicio de la red de distribución	164
<b>Modelado de la red de distribución en epanet</b>	<b>165</b>
<b>Análisis de resultados</b>	<b>167</b>
Resultados en plano de la red	167
Cota (Anexo 1).	167
Demanda base (Anexo 2).	168
Altura (Anexo 3).	168
Presión (Anexo 4).	168
Longitud (Anexo 5)	169
Diámetro (Anexo 6).	169
Caudal (Anexo 7).	169
Velocidad (Anexo 8)	169
Resultados en tabla de datos	170
Resultados gráficos	171
<b>Ejemplo de diseño del sistema de suministro</b>	<b>172</b>
Cálculo de la acometida	172
Cálculo del tanque de almacenamiento	174
Cálculo del sistema de bombeo	176
<b>Conclusiones Y Recomendaciones</b>	<b>177</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>179</b>

## Glosario

**Acometida:** Derivación de la red de distribución que llega hasta el registro de corte de un usuario. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general.

**Agua potable:** Reúne los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos que la hacen apta y aceptable para el consumo humano; cumple con la NTC 813 y con las demás normas de calidad de agua.

**Aparato sanitario:** Artefacto que facilita la utilización del agua potable, está conectado a una instalación interior y descarga al sistema de desagüe una vez utilizado.

**Caudal:** Cantidad de un fluido que pasa por un punto en un tiempo determinado.

**Edificio:** Construcción o parte de ésta, destinada a albergar personas, animales o bienes de cualquier índole.

**Grifería:** Accesorios terminales de distribución del sistema de suministro.

**Instalación hidráulica:** Véase sistema de suministro de agua potable.

**Nivel de rebose:** Borde extremo de un receptor por encima del cual el agua se debe rebosar de un depósito o de los aparatos sanitarios.

**Presión:** Relación entre dos magnitudes físicas, donde se evidencia la distribución de una fuerza en espacio.

**Presión atmosférica:** Es el peso de la columna de aire al nivel del mar.

$$\mathbf{P\ Atm. = 1Atm. = 760\ mm-Hg = 14.7\ lb/in^2\ (psi) = 30\ in-Hg = 2116\ ln/ft^2}$$



**Presión estática:** Presión del líquido en reposo

**Presión residual:** Presión disponible en la entrada de la grifería del aparato sanitario, después de considerar todas las pérdidas causadas por la instalación durante los periodos de máxima demanda.

**Ramal:** Tubería que abastece de agua una salida aislada, o dentro de los límites del ambiente respectivo, un baño o un grupo de aparatos sanitarios.

**Red matriz:** Es la parte de la Red de Distribución que conforma la malla principal de servicio de una población y que distribuye el agua procedente de la conducción, planta de tratamiento o tanques de compensación, a las redes secundarias. La Red primaria mantiene las presiones básicas de servicio para el funcionamiento correcto de todo el sistema y generalmente no reparte agua en ruta.

**.Registro:** Dispositivo de cierre instalado en un tramo de tubería.

**Sistema de suministro de agua potable:** Conjunto de tuberías, accesorios, equipos, griferías y aparatos sanitarios destinados al manejo y distribución del agua potable dentro de una edificación.

**Soportes:** Son dispositivos para apoyar y asegurar apropiadamente tuberías, aparatos y equipos.

## Lista de tablas

<i>Tabla 1 Inversión del gobierno nacional en acueducto y alcantarillado .....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2 Evolución en la cobertura de servicios públicos en Colombia 1938-1993 (%) .....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 3. Gasto-caudal, diámetro y presión mínima requerida de aparatos sanitarios.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 4 Unidades de abastecimiento de consumo.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 5 Clasificación de la tubería según RDE .....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 6 Dimensiones de la tubería CPVC .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 7 Dimensiones de tubos livianos.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 8 Presiones nominales para tuberías de acueducto en policloruro de vinilo (PVC) .....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 9 Dimensiones del collar de derivación para tuberías tipo PVC.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 10 Dimensiones para registros.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 11 Medidores de flujo electromagnético, tamaños y caudales.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 12 Evaluación de consumo según el uso .....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 13 Símbolos característicos de piezas sanitarias .....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 14 Simbología utilizada en el trazado .....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 15 Nomenclatura de aparatos sanitarios .....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 16 Fórmulas para determinar el factor de fricción.....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 17 Valores de rugosidad absoluta para distintos materiales .....</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 18 Coeficiente de Hazen-William para distintos materiales .....</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 19 Coeficientes K para diferentes accesorios.....</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 20 Alturas máximas de succión .....</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 21 Diámetro de la tubería de succión en función de la velocidad.....</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 22 Valores de T en función de <math>Q_c</math>.....</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 23 Valores de T en función de la potencia de las bombas.....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 24 Cálculo de caudales en cada nodo para introducir a Epanet .....</i>	<i>159</i>
<i>Tabla 25 Diámetro de tuberías vs. Velocidad de diseño .....</i>	<i>162</i>

## Lista de ilustraciones

<i>Ilustración 1. Recreación de unas termas romanas.</i>	2
<i>Ilustración 2. Imagen del canal del acueducto romano de Segovia</i>	3
<i>Ilustración 3. Qanat de Madrid.</i>	4
<i>Ilustración 4. Inversión de acueducto 1973-1995.</i>	14
<i>Ilustración 5. Canalización del río San Francisco, CA. 1912. Anónimo.</i>	17
<i>Ilustración 6. Canalización del río San Francisco, CA. 1920. Anónimo.</i>	17
<i>Ilustración 7. Acueducto de Egipto. S.f. Sociedad de Mejoras y Ornato de Bogotá.</i>	18
<i>Ilustración 8. Puerta del acueducto de Egipto, situado en la avenida circunvalar, entre calles 11 y 12, 1939.</i>	18
<i>Ilustración 9. Pila con campesinos y burros, CA. 1940.</i>	19
<i>Ilustración 10. Secuencia de funcionamiento del tanque hidroneumático.</i>	27
<i>Ilustración 11. Presurizador con bomba periférica (1/2 H. P. o 3/4 H. P.).</i>	30
<i>Ilustración 12. Bomba jet en acero inoxidable. Tanque horizontal (acero).</i>	31
<i>Ilustración 13. Bombas jet en hierro gris tanque vertical (fibra de vidrio) y bomba multietapas tanque vertical (acero).</i>	31
<i>Ilustración 14. Equipo hidroneumático con dos bombas multietapas con tanque vertical en acero.</i>	33
<i>Ilustración 15. Registro de incorporación galvanizado y en PVC.</i>	51
<i>Ilustración 16. Registro de incorporación.</i>	55
<i>Ilustración 17. Registro de corte.</i>	55
<i>Ilustración 18. Registro de usuario.</i>	55
<i>Ilustración 19. Válvula de compuerta.</i>	57
<i>Ilustración 20. Válvula de retención o cheque.</i>	58
<i>Ilustración 21. Esquema típico de acometida en muro de edificios.</i>	71
<i>Ilustración 22. Esquema típico de instalación para nichos de dos medidores.</i>	72
<i>Ilustración 23. Esquema típico de instalación para nichos de cuatro medidores.</i>	72
<i>Ilustración 24. Sistema de drenaje en tanques de almacenamiento, sugerido por la EAAB.</i>	77
<i>Ilustración 25. Esquema de un desagüe.</i>	78
<i>Ilustración 26. Esquema de construcción para tuberías de paso.</i>	79
<i>Ilustración 27. Detalle de un refuerzo.</i>	79
<i>Ilustración 28. Esquema de distribución con un solo régimen funcional o titular.</i>	88
<i>Ilustración 29. Esquema de distribución con más de un régimen funcional o titular.</i>	90
<i>Ilustración 30. Trazado en planta por piso.</i>	94
<i>Ilustración 31. Trazado en planta por entretecho.</i>	95
<i>Ilustración 32. Trazado en planta combinado.</i>	95
<i>Ilustración 33. Distancia del punto de conexión sanitario.</i>	97
<i>Ilustración 34. Distancia del punto de conexión del lavamanos y el lavaplatos.</i>	97
<i>Ilustración 35. Distancia del punto de conexión de la ducha.</i>	98
<i>Ilustración 36. Distancia del punto de conexión de la lavadora.</i>	98
<i>Ilustración 37. Marcación de zonas y definición de tramos.</i>	100
<i>Ilustración 38. Isométrico típico.</i>	102
<i>Ilustración 39. Curva de demanda Hunter.</i>	114
<i>Ilustración 40. Vista en corte de un tanque de almacenamiento.</i>	130
<i>Ilustración 41. Vista en planta de un tanque de almacenamiento.</i>	130

<i>Ilustración 42. Succión positiva.....</i>	<i>131</i>
<i>Ilustración 43. Succión negativa.....</i>	<i>132</i>
<i>Ilustración 44. Hidroneumático residencial.....</i>	<i>139</i>
<i>Ilustración 45. Isométrico en el programa AutoCAD.....</i>	<i>152</i>
<i>Ilustración 46. Tabla de propiedades del programa AutoCAD.....</i>	<i>153</i>
<i>Ilustración 47. Ejemplo de isométrico trasladado a Epanet.....</i>	<i>154</i>
<i>Ilustración 48. Diálogo de opciones del plano en Epanet.....</i>	<i>155</i>
<i>Ilustración 49. Esquema del plano con nodos numerados en el programa Epanet.....</i>	<i>156</i>
<i>Ilustración 50. Isométrico con nodos numerados.....</i>	<i>157</i>
<i>Ilustración 51. Propiedades de nodo, programa Epanet.....</i>	<i>160</i>
<i>Ilustración 52. Propiedades de la tubería en el programa Epanet.....</i>	<i>161</i>
<i>Ilustración 53. Ventana Opciones de Hidráulica, programa Epanet.....</i>	<i>164</i>
<i>Ilustración 54. Ventana Visor programa Epanet.....</i>	<i>165</i>
<i>Ilustración 55. Mensaje de estado de inicio de la simulación hidráulica, programa Epanet.....</i>	<i>166</i>
<i>Ilustración 56. Informe de estado, simulación hidráulica, programa Epanet.....</i>	<i>167</i>
<i>Ilustración 57. Ventana Selección de la tabla, programa Epanet.....</i>	<i>170</i>
<i>Ilustración 58. Ventana Selección del gráfico, programa Epanet.....</i>	<i>171</i>

## Resumen

En este trabajo se presentan las consideraciones básicas de diseño y cálculo de las instalaciones hidráulicas de una red de distribución de agua potable para un edificio. Se ha tenido en cuenta la normatividad vigente en el país y en la ciudad de Bogotá; así mismo, los conceptos fundamentales de la hidráulica y la experiencia de diferentes autores.

## Introducción

El agua siempre ha sido el elemento más importante para la subsistencia y el desarrollo de la humanidad, así lo demuestra la estrecha relación entre los primeros asentamientos humanos y su cercanía con los afluentes hidráulicos. El uso de este recurso en la mayoría de las actividades realizadas por el hombre genera atención y motivación para procurar su uso de forma óptima.

Por su localización geográfica, su relieve y su gran variedad de regímenes climáticos, Colombia se ubica entre los países con mayor riqueza en recursos hídricos en el mundo. Se estima que el rendimiento hídrico promedio de agua superficial es de 63 lt/sg-km<sup>2</sup>, superando en seis veces el rendimiento promedio mundial (10 lt/sg-km<sup>2</sup>) y en tres el de Latinoamérica (21 lt/sg-km<sup>2</sup>).

El volumen anual de precipitación en Colombia llega a 3.700 km<sup>3</sup>, de los cuales el 61% se convierte en escorrentía superficial, lo cual equivale a un caudal medio de 71.800 m<sup>3</sup>/sg, que fluye por las cinco zonas hidrográficas del territorio nacional.

El país también cuenta con condiciones muy favorables para el almacenamiento superficial con la presencia de cuerpos de agua lénticos, distribuidos en gran parte de su superficie, y la existencia de vastas extensiones de humedales.

Sin embargo, la distribución de estos recursos hídricos no es equivalente con el asentamiento poblacional. El 70% de la población colombiana vive en la cuenca del río Magdalena–Cauca, que aporta sólo el 15% de la oferta natural de agua, ya que el restante 30% está ubicada en las vertientes Orinoco, Amazonas, Pacífico, Atrato, Catatumbo y Sierra Nevada, que contribuyen con el 85% del agua.

La marcada concentración de la población, los procesos de degradación de los ecosistemas, la disminución de la regulación natural del régimen hidrológico, que hace

más prolongados los periodos de sequía y mayores las crecientes, y el incremento en la demanda de agua para el desarrollo económico y social acarrearán una disponibilidad escasa del recurso. Esta tendencia ha sido tan notoria que a finales del siglo XX Colombia ocupaba el cuarto lugar en el mundo por disponibilidad per cápita de agua, mientras que a principios del presente siglo, de acuerdo con el Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo “Agua para todos - agua para la vida” (2003), Colombia ocupó el puesto 24 entre 203 países (Ideam, 2010).

En general, el aprovechamiento y la optimización del recurso hídrico debería ser el planteamiento básico de cualquier proyecto de ingeniería, con diseños óptimos, asegurando sistemas funcionales, económicos, de calidad y durabilidad, que satisfagan las necesidades básicas de cualquier sector. Por ejemplo, para el caso de una edificación es necesario tener clara la normatividad vigente, los parámetros de diseño, los procesos de cálculo de las instalaciones hidráulicas y las herramientas disponibles para un cálculo más confiable.

El interés particular de este estudio es conceptualizar las consideraciones fundamentales para el diseño de una red de distribución de agua potable en una edificación de la ciudad de Bogotá. De tal forma que se convierta en una guía específica y sencilla para el diseño de cualquier edificación que se plantee construir. Con este fin se investiga y profundiza en la normatividad vigente, sus exigencias, los parámetros específicos de cálculo, los requerimientos de los diferentes aparatos sanitarios, los elementos del sistema, los accesorios mínimos y necesarios para el funcionamiento de la red; además, se hace una selección de bibliografía especializada en el tema para extraer los conceptos fundamentales que dan origen al cálculo específico de cada componente de una red interna de agua potable.

Este documento establece una metodología para el diseño y cálculo de una red de distribución, convirtiéndose en una herramienta para futuros diseñadores e ingenieros que pretendan desarrollar un trabajo de acuerdo con la normatividad vigente.

En este estudio también se emplean programas de cómputo específicos para el cálculo y la modelación de la red, aprovechándola gran cantidad de recursos electrónicos con que se cuenta actualmente y que permiten que los proyectos no sólo cumplan con la normatividad vigente sino que sean económicos, eficientes.



## **Antecedentes**

### **Historia de los acueductos en el mundo**

Históricamente el desarrollo económico y social del ser humano ha estado estrechamente vinculado con el agua, siendo un recurso vital determinante en la selección de asentamientos urbanos, agropecuarios e industriales. Por esta razón es preciso conocer el desarrollo de los acueductos a lo largo de la historia.

Hace cinco mil años surgieron los primeros asentamientos humanos, conformando las grandes civilizaciones del mundo antiguo, que se desarrollaron alrededor de las fuentes fluviales, como Egipto en torno al río Nilo, Mesopotamia con el Tigris y el Éufrates y la India con el Indo y el Ganges. Desde sus inicios la humanidad concibió la necesidad de canalizar y transportar este recurso para su aprovechamiento, construyendo en las nacientes ciudades tuberías de distribución y canales para el desagüe.

En Mohenjo-Daro (India) se descubrieron lo que al parecer eran las primeras estancias para baños, construidas hacia el año 2000 a.C. Entre 1700 y 1400 a.C. se construyeron los baños encontrados en el palacio de Cnosos (isla de Creta, Grecia). También existen restos de baños en el antiguo Egipto, concretamente en Tell el Amarna. La construcción de estos habitáculos para la higiene del cuerpo está asociada con las prácticas religiosas, a través de rituales purificadores que se practican en religiones como la musulmana y la hindú, el mikvah de la religión hebrea ortodoxa y el bautismo del catolicismo, que se derivan de la inmersión ritual.



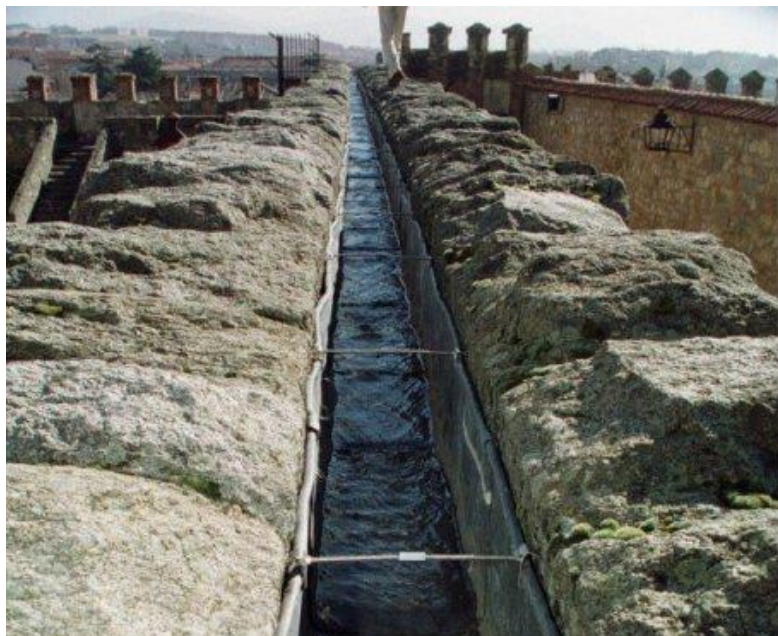
*Ilustración 1.* Recreación de unas termas romanas.

*Fuente:* Centro arqueológico de los baños, alhama

Algunas pinturas encontradas en ánforas de la antigua Grecia revelan la utilización de artefactos similares a las duchas actuales. Por su parte, en la *Ilíada* Homero comenta el uso de tinas para el baño. Las termas, en su origen, eran dependencias de los gimnasios y contaban únicamente con agua fría. A partir del siglo V a.C. se convirtieron en complejas instalaciones que ofrecían baños de vapor y piscinas mixtas de agua caliente, templada y fría, cuyo uso estaba destinado para actos rituales, con fines medicinales y actividades atléticas. Con el tiempo, todas las ciudades helenas contaron con este tipo de instalaciones. En Delfos y Olimpia aún existen restos de lo que al parecer fueron baños públicos del siglo V a. C.

El mejor ejemplo de este tipo de construcciones que ha perdurado hasta nuestros días son los acueductos romanos. El historiador francés Pierre Grimal denomina a Roma como “la ciudad del agua”, ya que al final del imperio la abastecían once acueductos. Se calcula que en la época de Trajano (98-117 d.C.) el agua disponible transportada por habitante

alcanzaba en Roma aproximadamente los 1.000 litros/día, sin tener en cuenta las grandes pérdidas del sistema de acueductos. En España se conservan magníficos acueductos como el de Segovia, Mérida y Tarragona.



*Ilustración 2.* Imagen del canal del acueducto romano de Segovia

*Fuente:* Serie de fotoperiodismo científico y tecnológico devíaEFE Futuro/2000.

En el siglo VIII a.C. se usaron los qanats, que eran unos canales subterráneos artificiales que transportaban el agua a lo largo de grandes distancias. Estas construcciones las inventaron los habitantes de Urartu, actual Turquía, y luego se difundieron por Persia, Egipto, India, Grecia, el Magreb y las islas Canarias.

Hacia el año 1500 a.C. la tecnología de los cuartos de baño evolucionó, pues las casas de los aristócratas egipcios contaban con tuberías de cobre por las que fluía agua fría y caliente, y el baño corporal completo formaba parte de las ceremonias religiosas. Curiosamente, a los sacerdotes se les exigía tomar cuatro baños fríos completos al día. Los judíos otorgaron aún mayor importancia a los aspectos rituales del baño, ya que según la ley mosaica la limpieza corporal equivalía a la pureza moral. Siguiendo las

normas dictadas por David y Salomón, aproximadamente desde el año 1000 hasta el 930 a.C. en toda Palestina se construyeron complejas obras públicas para el suministro de agua



*Ilustración 3.* Qanat de Madrid.

*Fuente:* <http://cuadernosdebujalance.blogspot.com.co/2009/06/qanats.html>.

El agua era un don de los dioses como el árbol santo de Canarias, que captaba el agua de la neblina y alimentaba así a las poblaciones de la isla de Hierro. Atenas en Grecia, Pompeya en Italia y Cuzco en Perú tuvieron elaborados sistemas de extracción y desagüe de aguas. Estas comunidades se establecieron en lugares de poca pluviosidad y ausencia de ríos, razón por la cual tuvieron que traer el agua de lugares remotos empleando métodos de ingeniería sofisticados para conservarla en embalses y acueductos. La técnica de los sifones invertidos se dominó hacia el año 144 a. C., gracias al empleo de conducciones de plomo para realizar las canalizaciones.

El termalismo tuvo su verdadero apogeo en los siglos XVIII y XIX, con el surgimiento del culto a la higiene del cuerpo. La emperatriz María Eugenia fue una de las grandes

promotoras de esta moda. Marienbad, Vichy, Baden-Baden, Spa, Bath y Montecani se desarrollaron adquiriendo gran esplendor por sus aguas termales.

Durante la revolución industrial de los siglos XIX y XX la demanda de agua creció sustancialmente. Se construyeron grandes proyectos de ingeniería para prevenir inundaciones, proteger las aguas potables y proveer centrales hidroeléctricas y canales para el regadío. Gracias a la mejora de los desagües en el mundo industrializado se controlaron enfermedades endémicas como el cólera y la fiebre tifoidea.

Hacia mediados del siglo XIX los sistemas de transporte y distribución de agua eran muy similares en todas las ciudades, sirviéndose de los manantiales existentes y llevando el agua a las fuentes públicas para uso de la población urbana. Para el abastecimiento también se extraía de los pozos mediante bombas, aunque existía el problema de controlar la filtración de aguas negras procedentes de las cloacas, lo cual la convertía en foco de enfermedades, principalmente en épocas calurosas.

Como consecuencia del agua contaminada se produjeron siete pandemias mundiales en los siglos XIX y XX, que causaron la muerte a miles de personas, a través de la virosis, la hepatitis, el cólera y la disentería.

La ausencia de aseo personal, junto con las malas condiciones de la vivienda, con poco espacio y escasa ventilación, además de la mala calidad del agua provocaron elevadas tasas de mortalidad en esa época.

El agua produjo una gran transformación en la vida cotidiana contemporánea, mejorando en aspectos fundamentales como la higiene íntima y los hábitos saludables, lo cual redujo de manera importante la mortalidad por su acción preventiva.

Durante las primeras décadas del siglo XX el agua continúa siendo un lujo en muchas partes del llamado mundo desarrollado. La falta de agua favorece la miseria y el recelo

hacia un elemento tan esencial para el cumplimiento de los preceptos higiénicos y de salud.

La aceleración industrial de los últimos decenios, el crecimiento imparable de la población y el espectacular desarrollo de las actividades urbanas no es equiparable con el cubrimiento de los servicios básicos. El agua, cuyo consumo a domicilio se considera vital para las nuevas prácticas culturales relacionadas con la salud pública y privada, es reclamada por el pensamiento higienista como base fundamental del desarrollo.

El invento de la bomba en Inglaterra, a mediados del siglo XVI, impulsó las posibilidades de desarrollo de los sistemas de suministro de agua. La primera obra de bombeo de agua se finalizó en Londres en 1562, la cual extraía agua del Támesis y la transportaba hacia un embalse ubicado a unos 37 metros por encima del nivel del río, luego el agua se distribuía a los edificios vecinos a través de tuberías, aprovechando la fuerza de gravedad. El primer sistema de suministro de agua potable a una ciudad completa lo construyó John Gibb en 1984 en Paisley, Escocia. Tres años después se comenzó a transportar agua filtrada a la ciudad de Glasgow.

En 1806 empezó a funcionar en París la mayor planta de tratamiento de aguas, que la sedimentaba durante 12 horas antes de su filtración a través de arena y carbón.

En 1827 el inglés James Simplón construyó un filtro de arena para la purificación del agua potable, que hoy en día todavía se considera el primer sistema efectivo utilizado con fines de salud pública.

Las directrices de la Organización Mundial de la Salud, OMS, para la calidad del agua potable establecidas en Génova (1993) son el punto de referencia internacional para el establecimiento de estándares y seguridad del agua potable. Estas normas las acatan todos los países del mundo como base para la elaboración de reglamentos y normas orientados

a garantizar la inocuidad del agua potable. (Biswas, 1970)/ (Bonnin, 1984)/ (LeMoal, 1992)/ (Maneglier, 1991) reconocen la necesidad de prestar atención prioritaria a la garantía de la inocuidad microbiológica y proporcionan valores de referencia correspondientes a numerosos peligros de origen químico. (Biswas, 1970)/ (Bonnin, 1984)/ (LeMoal, 1992)/ (Maneglier, 1991).

### **Historia de los acueductos en Colombia**

Desde 1951 la mayor parte de los proyectos construidos en Colombia han incluido los dos componentes, acueducto y alcantarillado. En general, se puede decir que su desarrollo ha sido muy discontinuo, enmarcado por la poca disponibilidad presupuestal por parte del Estado la baja inversión del sector privado, dando como resultado la actual infraestructura de acueducto y alcantarillado, que en muchos municipios del país es aún muy elemental. A continuación se presenta una breve síntesis de su desarrollo en Colombia.

Históricamente, entidades de diversa naturaleza se han encargado de la construcción de proyectos de acueducto y alcantarillado y de la operación de estos sistemas. En sus comienzos los municipios o los particulares (bajo concesión municipal) adelantaron este tipo de obras y se encargaron de su operación. Por ejemplo, durante el primer cuarto del siglo XX en Bogotá, Barranquilla y Bucaramanga las empresas de acueducto pertenecieron y fueron operadas por particulares. En otras ciudades los municipios se encargaron de estas funciones, recibiendo el apoyo esporádico de la nación y los departamentos.

Bogotá inauguró su sistema de acueducto en 1886, Cartagena y Medellín (por iniciativa municipal) en 1905 y, posteriormente, Cali en 1919.

La incapacidad (o desinterés) de los concesionarios por mantener el ritmo de inversión necesario para responder a una demanda creciente llevó a la municipalización de las



pocas empresas privadas. En Bogotá la empresa de acueducto pasó al control municipal en 1914. En Barranquilla rigió desde 1925 un contrato muy particular, que duró hasta 1960, en el que se acordó que prestamistas norteamericanos administrarían la empresa de servicios públicos de la ciudad mientras se redimiera el empréstito otorgado.

En el desarrollo posterior de estos sistemas se pueden distinguir al menos tres periodos. El primero (1936 – 1950) está marcado por la creación y operación del Fondo de Fomento Municipal, que significó el cambio a un modelo sostenido de financiación con recursos de la nación. El segundo periodo (1950 – 1986) se caracteriza por el fortalecimiento de la participación nacional, que se extiende a la administración y operación de los sistemas a través del Insfopal. El último periodo arranca con la quiebra y liquidación del Insfopal y está marcado por los procesos de la descentralización política y fiscal, por un mayor énfasis en la aplicación de principios comerciales en la operación de los sistemas y los primeros signos de participación privada (Israel Fainboim Yaker, Marzo 2000).

### **Del modelo descentralizado a la intervención estatal (1936 - 1950)**

Hasta mediados de los años treinta los acueductos se financiaron con precarios auxilios parlamentarios que se distribuían arbitrariamente. En 1940 (Decreto 503) nació el Fondo de Fomento Municipal (FFM), adscrito al Ministerio de Hacienda y financiado con impuestos de destinación específica y recursos de crédito interno. Bajo este nuevo modelo la nación era la principal responsable de recaudar los fondos para las inversiones. Los recursos del FFM se distribuían con base en la población departamental, destinando el 15% a Bogotá. El esquema dependía, en consecuencia, del Ministerio de Hacienda, con los otros ministerios ejerciendo funciones complementarias. La dirección de las obras era responsabilidad de la entidad que más aportaba, que por lo general era la nación. “Una



vez terminadas las obras y autorizados los créditos, los sistemas debían pasar a manos de la administración municipal”.

La inversión pública en acueductos y alcantarillados representó en los años cuarenta el 1% de los ingresos del gobierno nacional (tabla 1). A pesar de que los recursos asignados al sector fueron modestos su estabilidad permitió garantizar una tasa de expansión de las conexiones domiciliarias que no pudieron superarse en las décadas posteriores (Israel Fainboim Yaker, Marzo 2000).

### **Provisión directa de los servicios a través del insfopal**

La incapacidad de los municipios para responsabilizarse del manejo de los sistemas de acueducto dio lugar a la primera crisis y al cambio de modelo, orientándose hacia uno en el que se fortalecía la participación nacional, extendiéndose al campo de la administración de dichos sistemas. Con ese propósito se suprimió el FFM en 1950, reemplazándolo por el Instituto de Fomento Municipal (posteriormente Instituto Nacional de Fomento Municipal, Insfopal), creado como entidad dependiente del Ministerio de Fomento, entidad que no sólo financiaba sino que también ejecutaba las obras.

Paradójicamente, la base de sus recursos financieros se debilitó, pues se suprimieron las rentas de destinación específica. Además, después de 1957 se sustituyó el esquema de distribución de recursos con base en la población por uno de distribución arbitraria y, en parte, clientelista. Este esquema, menos rígido y más redistributivo (desaparece la condición privilegiada de Bogotá) facilitó desde finales de los sesenta y en los setenta el acceso al endeudamiento externo de las ciudades pequeñas e intermedias. En este periodo el sistema se fragmentó.

Desde los años cincuenta, en las grandes ciudades se desarrolló el sistema de empresas públicas municipales, que de esta forma se aislaron de las dificultades financieras y

administrativas del sistema manejado por el Infopal. La fragmentación se amplió posteriormente cuando se suprimieron las obligaciones de este instituto con el sector rural, para lo cual se creó el Inpes en el INS del Ministerio de Salud. Dentro del mismo esquema del Infopal se abrió una brecha en las empresas y ciudades, entre las que tenían acceso a créditos externos y las que no, quedando estas últimas sometidas al capricho de los escasos recursos del presupuesto nacional.

Durante este periodo es posible contar varios esfuerzos de la nación por volver a transferir competencias y responsabilidades a los municipios. En 1957 les ofreció estímulos financieros a los municipios para que retomaran la administración de sus servicios, medida que tuvo poco impacto. En 1975 se estableció la obligación legal de crear organismos locales y regionales para la operación de los sistemas. “Se distinguen, sin embargo, los sistemas autónomos, los coadministrador y los que continuarán en manos estatales (Israel Fainboim Yaker, Marzo 2000).

*Tabla 1* Inversión del gobierno nacional en acueducto y alcantarillado

<b>Periodo</b>	<b>Inversión /1</b>
1940-1949	1.00%
1950-1957	0.60%
1958-1962	5.50%
1963-1968	1.20%
1970-1988	0.5% /2
1989-1997	
/1 En porcentaje de los ingresos del gobierno nacional.	

*Fuente:* Cuervo, 1997.

Tabla 2 Evolución en la cobertura de servicios públicos en Colombia 1938-1993 (%)

Descripción	Años de evolución					
	1938	1951	1964	1973	1985	1993
Acueducto						
Total	11.2	29.3	38.7	57.6	70.4	76.4
Urbano	37.9	57	65.8	86.9	89.2	86.7
Rural	0.3	7.5	13.3	22.7	28	44
Alcantarillado						
Total	n.d.	n.d.	30.5	42.3	59.4	63.4
Urbano	n.d.	n.d.	58	72.2	80.7	77.2
Rural	n.d.	n.d.	4.9	6.7	11.3	19

Fuente: Cuervo, 1992.

La fijación de tarifas, que fue una de las funciones del Insfopal durante su existencia, se trasladó en 1968 a la Junta Nacional de Tarifas. Sin embargo, en 1975 se devolvió esta función al Insfopal.

A finales de los años 60 las oficinas regionales del Insfopal se transformaron en Empresas de Obras Sanitarias Departamentales (Empos). Con esta reforma, el instituto entregó la ejecución directa de las obras y se dedicó a coordinar las Empos. Sin embargo, en la práctica continuó administrando, ejecutando, controlando y otorgando créditos a entidades débiles.

Este periodo se caracterizó por una gran penuria financiera y una creciente dependencia respecto de los recursos de crédito de las entidades multilaterales (Banco Mundial y, luego, el BID). La creación del Insfopal no redundó en aumento de la inversión canalizada al sector. Tan sólo en el periodo 1958-1962 se movilizó un volumen

importante de recursos, gracias a las políticas de pacificación y el apoyo internacional a través de la Alianza para el Progreso. En este periodo la inversión en el sector alcanzó una participación en los ingresos de la nación (5.5%) jamás alcanzada en la historia del país (tabla1).

A comienzos de la década de los ochenta, el sistema nacional de acueductos y alcantarillados estaba conformado por unas pocas empresas municipales autónomas en las principales ciudades y un conjunto de 40 empresas de propiedad de la nación, pero operadas en forma descentralizada.

En los años ochenta, el Plan de Ajuste Sectorial, PAS, cuya base fue la autonomía financiera municipal y su principal instrumento el manejo del crédito a través de un banco mixto (Banco Central Hipotecario), proveía recursos subsidiados a través del Fondo Financiero de Desarrollo Urbano, FFDU. Este fondo reemplazó al Infopal en sus funciones financieras. Al FFDU se le definieron otros parámetros para financiar al sector, diferentes a los que operaban con el Infopal. Los préstamos deberían ser reembolsables, se pedirían contrapartidas y se harían exigencias de planeación física y financiera.

En 1986 se liquidó la participación del Infopal en sus filiales departamentales y municipales (Empos y Acuas), que se convirtieron en institutos descentralizados del orden departamental y municipal, encargando así a las entidades territoriales de la ejecución y operación de los proyectos. En 1987 se liquidó el Infopal. Su desaparición creó un vacío en la financiación del sector que afectó la inversión y los niveles de cobertura.

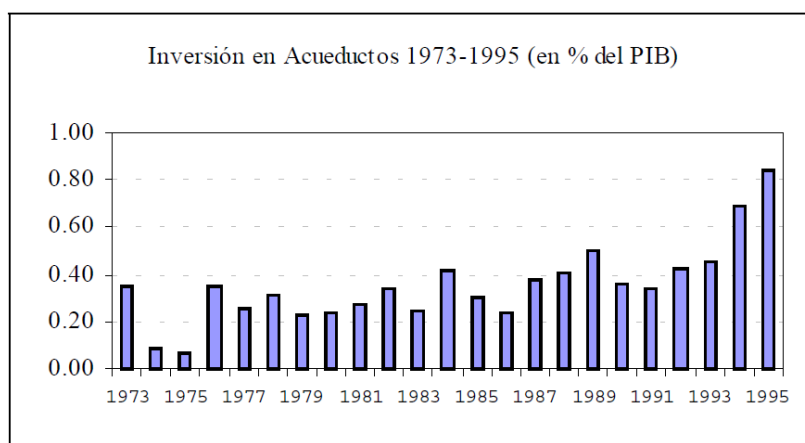
Comenzando la década de los noventa, los índices de cobertura se encontraban cerca de 7 puntos porcentuales por debajo de los patrones internacionales para países con un grado de desarrollo similar al de Colombia. Además, las entidades territoriales y el gobierno

nacional se encontraron sin un marco regulatorio claro y adecuado, que les permitiera asumir las nuevas responsabilidades asignadas por la descentralización (Israel Fainboim Yaker, Marzo 2000).

### **Descentralización y orientación comercial**

La reforma política que estableció la elección popular de gobernadores en 1986, la acentuación del proceso de descentralización fiscal a partir de ese año y la Constitución Política de 1991, que extendió la elección popular a los alcaldes y permitió la participación privada y comunitaria en la prestación de los servicios públicos, abrieron las puertas a modelos más flexibles de gestión de las empresas de acueducto y alcantarillado, reflejando mejor la heterogeneidad socioeconómica de las entidades territoriales y nacionales y promoviendo la autonomía local.

El desarrollo de estos procesos entró, hasta cierto punto, en conflicto con el modelo de gestión propuesto por la Ley 142 de 1994, que más rígido y basado en una dicotomía simplista pública-privada, no es fácilmente operable en la mayoría de los sistemas de acueductos. Esta ley asignó la responsabilidad de planeación, regulación, vigilancia y control de los sistemas de acueducto y alcantarillado a tres entidades del orden nacional pertenecientes al Ministerio de Desarrollo: la Comisión de Regulación de Agua Potable, CRA, la Dirección de Agua Potable y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, que dependen de una misma cadena decisional, la del ejecutivo en persona del Presidente de la República. La Ley 142 “define una forma jurídica única para las personas prestadoras de los servicios, la de las sociedades por acciones. Las demás quedan entendidas como excepciones o desviaciones de lo que se considera la norma. El artículo 6o se esfuerza por poner toda suerte de trabas a la prestación directa de estos servicios por parte de los municipios” (Cuervo (1997).



*Ilustración 4.* Inversión de acueducto 1973-1995.

*Fuente:* Dane.

La ilustración 4 muestra la tasa de inversión en acueductos y alcantarillados para el periodo 1973- 995 (en porcentaje del PIB), con base en cifras del Dane. Allí se confirma la escasa movilización de recursos para este sector durante todo el periodo y el ligero incremento de los últimos años. La inversión fue pública casi en su totalidad, la participación privada se limitó en el periodo reciente a invertir en mejoras de la administración, la operación y el mantenimiento de los sistemas, pero no en la expansión. En materia de financiación aparecieron nuevas entidades pero los recursos seguían proviniendo de transferencias de la nación, de créditos de entidades del orden nacional y de créditos de entidades multilaterales. Se liquidó el FFDU y se reemplazó por una nueva entidad adscrita al Ministerio de Hacienda, la Financiera de Desarrollo Territorial, Findeter, que se creó en 1989 e inició labores en 1990.

Además, surgieron los programas de cofinanciación (aportes no reembolsables), que se iniciaron en 1992 con la creación del Fondo de Cofinanciación de la Infraestructura para el Desarrollo Rural Integrado, DRI. A todas estas fuentes de financiamiento se sumaron los recursos provenientes de las transferencias intergubernamentales (Ley 60 de 1993), los cuales se debían destinar en un porcentaje muy pequeño a inversión en acueductos y

alcantarillados, así como los créditos multilaterales, canalizados a través de Findeter. La confluencia de todas estas fuentes de recursos produjo un leve repunte de la inversión a partir de 1994 (Israel Fainboim Yaker, Marzo 2000).

### **Historia De Los Acueductos En Bogotá**

Bogotá se caracteriza por ser una de las ciudades de mayor cobertura en el servicio de acueducto y alcantarillado; sin embargo, como en el resto del país su desarrollo empezó con poco interés por parte del Estado para incrementar su disponibilidad a todos los usuarios. A continuación se hace un breve recuento de los acueductos en Bogotá.

En la época prehispánica la sabana de Bogotá ofrecía un paisaje en el que se destacaban gran cantidad de lagunas y ríos, donde los muiscas, moradores originarios de la región, celebraban sus ritos sagrados. El agua se encontraba tan ligada a sus vidas que la consideraban una deidad, a la cual llamaban Sie.

La abundancia de agua encontrada por los conquistadores en la sabana se convirtió en un factor determinante para la fundación del caserío de Teusaquillo, antiguo nombre de la capital. La ciudad se localizó entre los ríos San Francisco y San Agustín, de los cuales tomaban líquido sus moradores, transportándolo en múcuras hasta las viviendas.

El primer acueducto se construyó en 1584. La obra, adelantada por el cabildo, se financió mediante el impuesto de sisa a la carne y al vino. El acueducto consistía en una conducción de aguas desde el río San Agustín hasta la plaza principal, mediante una cañería de cal, ladrillo y piedra que pasaba por una zona en la que existían arbustos de laurel, por lo cual se le llamó acueducto o cañería de Los Laureles, nombre con el que se le conoció hasta mediados del siglo XVIII, cuando se emprendió la obra del acueducto de Aguanueva y al de Los Laureles empezó a llamársele Aguavieja. Como destino final del primitivo acueducto se construyó en la plaza principal una fuente de piedra, coronada por

una escultura de san Juan Bautista, a la que la costumbre popular dio el nombre de Mono de la Pila. Esta fuente sustituyó al rollo o picota que allí existía desde la fundación y permaneció hasta 1846 cuando se erigió en su lugar la estatua de Bolívar.

La obra más importante para el suministro de agua en la ciudad a lo largo de su historia colonial fue el acueducto de Aguanueva, que se inauguró el 30 de junio de 1757 y su construcción fue promovida por el virrey Solís, siendo la obra más destacada de su administración. Las aguas se tomaban del río San Francisco, al oriente de la ciudad, eran transportadas por una zanja que bordeaba el camino llamado paseo de la Aguanueva, descendiendo luego por la calle de La Fatiga (actual calle 10ª.) hasta la fuente de la plaza mayor. El agua de esta conducción contribuyó con varios chorros y fuentes públicas.

De acuerdo con los datos del censo realizado en 1800, en Santafé vivían 21.464 habitantes, “sin incluir los transeúntes, que no bajan de mil, a lo menos, ni los mendigos y vagos, que no tienen casa fija y ascienden a quinientos”.

Una muestra de la forma como se hacían los acueductos coloniales de Santafé lo representa el de San Victorino, cuya construcción exigieron los vecinos del sector en 1680 y en los cien años siguientes tan sólo se adelantaron unas pocas labores para su construcción. En 1792 se continuaron interrumpidamente los trabajos y sólo hasta 1803 se concluyó la obra.

En 1886 el municipio concedió a Ramón B. Jimeno y a Antonio Martínez de la Cuadra la exclusividad para establecer, usar y explotar los acueductos de Bogotá y Chapinero por un periodo de setenta años. Como parte de este sistema, en 1888 se inauguró el primer acueducto con tubería de hierro de la ciudad.





*Ilustración 5.* Canalización del río San Francisco, CA. 1912. Anónimo.  
*Fuente* Colección Museo de Bogotá, fondo Luis Alberto Acuña. Reg. MDB 00055 y MDB 00056.



*Ilustración 6.* Canalización del río San Francisco, CA. 1920. Anónimo.  
*Fuente:* Colección Museo de Bogotá, fondo Luis Alberto Acuña. Reg. MDB 00105.

El sistema privado no fue la respuesta a las necesidades del servicio de la ciudad, por lo cual, en 1914 el acueducto regresó a la municipalidad y se dio inicio a una serie de obras para solucionar el problema de abastecimiento que venía sufriendo Santafé. Se construyeron tanques en las zonas altas y se renovaron las tuberías. En 1920 se inició la

desinfección del agua por medio de cloro y a finales de esta década se constituyó una nueva empresa con el tranvía y el acueducto.



*Ilustración 7.* Acueducto de Egipto. S.f. Sociedad de Mejoras y Ornato de Bogotá.  
*Fuente:* Archivo José Vicente Ortega Ricaurte. Reg. VI-473c.

En 1933 se iniciaron obras importantes para la prestación del servicio, entre ellas los embalses de la Regadera, Chisacá y los Tunjos, y las plantas de tratamiento de Vitelma y San Diego.



*Ilustración 8.* Puerta del acueducto de Egipto, situado en la avenida circunvalar, entre calles 11 y 12, 1939.  
*Fuente:* Colección Museo de Bogotá, fondo Daniel Rodríguez. Reg. MDB 18652.

En 1955 el acueducto se desvinculó del tranvía y se unió al sistema de alcantarillado, con la creación de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, mediante el Acuerdo 105 del Concejo Administrativo de la ciudad.



*Ilustración 9. Pila con campesinos y burros, CA. 1940.*

*Fuente: Colección Museo de Bogotá, fondo Saúl Orduz. Reg. MBD 27683.*

Posteriormente empezó el desarrollo de estudios para traer más agua a Bogotá y comenzó la construcción de la planta de tratamiento Tibitoc, que se terminó en 1959, con una capacidad inicial de  $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Las dos ampliaciones posteriores permiten hoy contar con una capacidad de  $10.4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Esta planta, que se constituyó en el primer sistema de gran envergadura de la ciudad, se surte de las aguas del río Bogotá, llegando por bombeo.

Ante el acelerado crecimiento de la ciudad, la EAAB empezó en 1972 las obras del proyecto Chingaza. En la primera etapa se construyó el embalse de Chuza, de donde se transportaba el agua a través de túneles hasta la planta de tratamiento Francisco Wiesner (antigua planta El Sapo), localizada en el valle del río Teusacá.

El sistema Chingaza se complementó con la construcción del embalse de San Rafael, que empezó a funcionar en 1997 con una capacidad máxima de 75 millones de  $\text{m}^3$ . (Banco de la Republica Cultural, 2012).

## **Generalidades y normatividad de las redes de distribución de agua potable en Bogotá y Colombia**

Para hablar de normatividad en redes de suministro en Bogotá y Colombia es importante distinguir el tipo de red que se va a diseñar o construir, es decir, si se trata de redes internas o externas, puesto que su conceptualización, diseño y reglamentación es diferente. Como el presente trabajo está encaminado hacia las redes internas de una edificación a continuación se hace una breve descripción de las redes externas y su normatividad, y se profundiza en el conocimiento y normatividad de las redes internas.

### **Generalidades y normatividad para el diseño y construcción de una red externa de agua potable**

La red externa de abastecimiento de agua potable es un sistema compuesto por la captación, el almacenamiento, el bombeo, el tratamiento del agua y la red distribución. En Colombia estas redes se rigen por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000. Por su parte, en Bogotá se deben tener en cuenta las Normas Sistec de la EAAB. A continuación se describen los diferentes componentes de una red externa de distribución de agua potable y la reglamentación según el RAS-2000.

#### **Captación**

El sistema de captación está constituido por el conjunto de obras civiles y equipos electromecánicos destinados a concentrar y/o capturar un determinado volumen de agua, que se desvía del cauce natural para su posterior distribución. La clase de obra de captación que se debe emplear está determinada por el tipo de fuente de abastecimiento, su localización y el volumen de agua que se quiera sustraer.

En los capítulos B.4. Captaciones de agua superficial y B.5 Captaciones de agua subterránea del RAS-2000 se establecen los alcances, los estudios previos, las condiciones específicas, los tipos de captación, los parámetros de diseño y los aspectos de la puesta en marcha, operación y mantenimiento para las obras de captación (Ministerio de Desarrollo Económico, Noviembre 2000).

### **Bombeo y almacenamiento**

Cabe aclarar que en el punto de captación no siempre se tiene la misma disponibilidad de agua, posiblemente sea menor en época de verano y mayor cuando hay lluvias, por esta razón se hace necesario almacenar el agua cuando la oferta supere la demanda. Este almacenamiento se puede hacer en grandes embalses o en tanques de almacenamiento de diferentes tamaños, dependiendo de la complejidad del sistema y del número de usuarios. Igualmente, se hace imprescindible el uso de sistemas de bombeo que garanticen la presión mínima en el sistema, debido a la topografía característica de Colombia y a los sistemas de almacenamiento requeridos.

En los capítulos B.8 Estaciones de bombeo y B.9 Tanques de almacenamiento y compensación del RAS-2000 se establecen los alcances, los estudios previos, las condiciones específicas, los tipos de elementos, los parámetros de diseño y los aspectos de la puesta en marcha, operación y mantenimiento para las estaciones de bombeo y el almacenamiento (Ministerio de Desarrollo Económico, Noviembre 2000).

### **Red de distribución, aducción y conducción**

“La red de distribución es la encargada de transportar el agua desde el punto de captación hasta las redes principales de suministro, su estructura está definida por la topografía y distancia de transporte. La aducción se encarga de transportar el agua no tratada hasta la planta de tratamiento, y lo puede hacer a presión o a flujo libre. Por su parte, la conducción se encarga del transporte del agua tratada, generalmente a presión en conductos cerrados, hasta las redes de

suministro. La red debe garantizar el servicio en cantidad suficiente y constante, de acuerdo con los parámetros de diseño y las necesidades de consumo, que pueden ser de tipo doméstico, público, comercial o industrial” (Emcali, 2014).

En el Capítulo B.6 Aducción y conducción del RAS-2000 se establecen los alcances, los estudios previos, las condiciones generales, los parámetros de diseño y las normas técnicas específicas de la puesta en marcha, operación y mantenimiento de este componente de la red externa.

En el Capítulo B.7 Redes de distribución del RAS-2000 se establecen los alcances, los estudios previos, las condiciones generales, los parámetros de diseño y las normas técnicas específicas de la puesta en marcha, operación y mantenimiento de este componente de la red externa (Ministerio de Desarrollo Económico, Noviembre 2000).

### **Tratamiento de potabilización**

“El agua extraída del afluente natural generalmente no cumple con los requisitos mínimos que por norma debe tener el agua para el consumo humano, la mayoría de veces tiene presencia de contaminantes patógenos perjudiciales para la salud (Coli), sólidos suspendidos, sólidos disueltos, turbiedad, color o elementos químicos que se deben tratar mediante procesos químicos y físicos en una planta especializada para que sea apta para el consumo” (Ministerio de Desarrollo Económico, Noviembre 2000).

El Decreto 1594 de 1984 “estipula los límites admisibles de los diferentes contaminantes que pueden presentarse en el agua”.

Por su parte, el Decreto 475 de 1998 “establece las normas organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua potable que rigen en toda Colombia y deben cumplirse en cualquier punto de la red de distribución de un sistema de suministro de agua”.

## **Generalidades y normatividad para el diseño y construcción de una red interna de agua potable**

La norma colombiana que rige el cálculo, la instalación y el mantenimiento de las redes internas es el Código Colombiano de Fontanería, NTC 1500, en su segunda actualización del 11 de noviembre del 2004.

De igual forma la EAAB, aunque no tiene potestad para aprobar las redes internas de una edificación, también cuenta entre las Normas Sistec con las Normas Sanitarias, NS, las cuales son de gran apoyo porque son más específicas para algunos elementos, como por ejemplo la NS-128 Lineamientos generales para diseño y construcción de instalaciones hidrosanitarias internas.

En otras ciudades también se encuentra normatividad específica para el diseño y la construcción de redes internas de distribución, como el caso de las Empresas Públicas de Medellín, EPM, con las “Normas de diseño de sistemas de acueducto de las Empresas Públicas de Medellín E. S. P.” (Empresas Públicas de Medellín, , Segunda Edición 2013). Otro ejemplo es la Empresa Triple A S.A. E.S.P de Barranquilla, que el 26 de agosto de 2014 presentó “La guía del constructor de Triple A”, en la que plasman los requisitos y recomendaciones para los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en proyectos multifamiliares, centros comerciales o de oficinas, institucionales o industriales (Anónimo, Empresa Tripe A presentó en Barranquilla la 'Guía del constructor', 2014). También se pueden mencionar las Normas Sinet de las Empresas Municipales de Cali (Emcali). Todas ellas proporcionan una gran herramienta en el diseño y construcción de una red de agua potable.

Para el caso específico de esta tesis, enmarcada en sus objetivos, ampliaremos básicamente la Norma NTC-1500 y las Normas de la EAAB, especificando cada uno de los componentes que se relacionan directamente con el diseño y la construcción.

Para establecer las características de una red de distribución de agua potable interna y sus componentes es preciso clasificarlas de acuerdo con los tipos de edificación y las clases de abastecimiento, de igual forma se deben conocer los elementos que las componen, la acometida, el tanque de almacenamiento, el sistema de bombeo y la red de distribución, los cuales se deben identificar y tener en cuenta en el diseño y la construcción de la red. A continuación se describe la clasificación y los componentes propios de una red de distribución interna y la normatividad vinculada a ellos.

### **Tipos de edificación**

En general, la normatividad no hace mayor referencia en cuanto a tipificarlas edificaciones, salvo para evaluar el caudal de consumo diario o determinar las instalaciones mínimas de fontanería. Sin embargo, es un parámetro muy importante en el pre dimensionamiento y el cálculo de una red de distribución. La experiencia de diferentes autores permite clasificar las edificaciones de la siguiente forma:

#### ***Vivienda unifamiliar***

“Son viviendas de uno o dos pisos, con suministro independiente a otras unidades, generalmente habitadas por un solo núcleo familiar, de ahí deriva su nombre. El suministro puede ser directo, por un tanque elevado o combinado” (Rodríguez Díaz, Mayo de 2005).

#### ***Conjunto residencial de casas***

“Son viviendas unifamiliares de conjuntos residenciales. El suministro proviene de una sola acometida y tramo, con un diseño interno de red de distribución para cada una de las unidades por medio de un sistema directo, por un tanque elevado o combinado” (Rodríguez Díaz, Mayo de 2005).



### ***Viviendas multifamiliares***

“Edificaciones que pueden tener desde dos hasta veinte pisos, diseñadas de tal forma que se componen de uno hasta cuatro apartamentos por piso. Para edificios de menos de cuatro pisos el suministro puede ser directo si la presión de la red es suficiente. Según la norma, para edificaciones mayores se requiere un tanque de reserva, por lo cual el suministro requiere sistemas indirectos” (Rodríguez Díaz, Mayo de 2005).

### ***Centros comerciales***

“Son edificios de grandes superficies de terreno. En Colombia generalmente no superan los cuatro pisos. Están diseñados para el comercio y el uso público de sus instalaciones. Su diseño contempla unidades ahorradoras de agua como válvulas de fluxómetro y el suministro requiere sistemas indirectos” (Rodríguez Díaz, Mayo de 2005).

### ***Planteles educativos***

“Ocupan también grandes superficies y sus instalaciones están destinadas a la enseñanza, pueden ser públicas o privadas, pero su abastecimiento se considera para uso público por el tamaño de la población. El suministro requiere sistemas indirectos” (Rodríguez Díaz, Mayo de 2005).

### ***Edificios no habitables***

“Edificaciones destinadas al uso de oficinas. Por lo regular, están compuestas de varios pisos y su uso sanitario es muy diferente del doméstico por las actividades generadas en sus instalaciones. Para edificios de menos de cuatro pisos el suministro puede ser directo si la presión de la red es suficiente. Según la norma, para edificaciones mayores se exige un tanque de reserva, razón por la cual el suministro requiere sistemas indirectos” (Rodríguez Díaz, Mayo de 2005).

## **Tipos de abastecimiento de una red**

El tipo de abastecimiento de una red lo determinan las condiciones particulares de la edificación que se va a diseñar, la presión mínima de servicio requerida, el gasto medio y la continuidad del servicio. En general, la norma colombiana NTC-1500 no es muy específica en cuanto a los tipos de suministro; sin embargo, la experiencia de diferentes autores reseña los siguientes dos tipos de suministro:

### ***Abastecimiento directo***

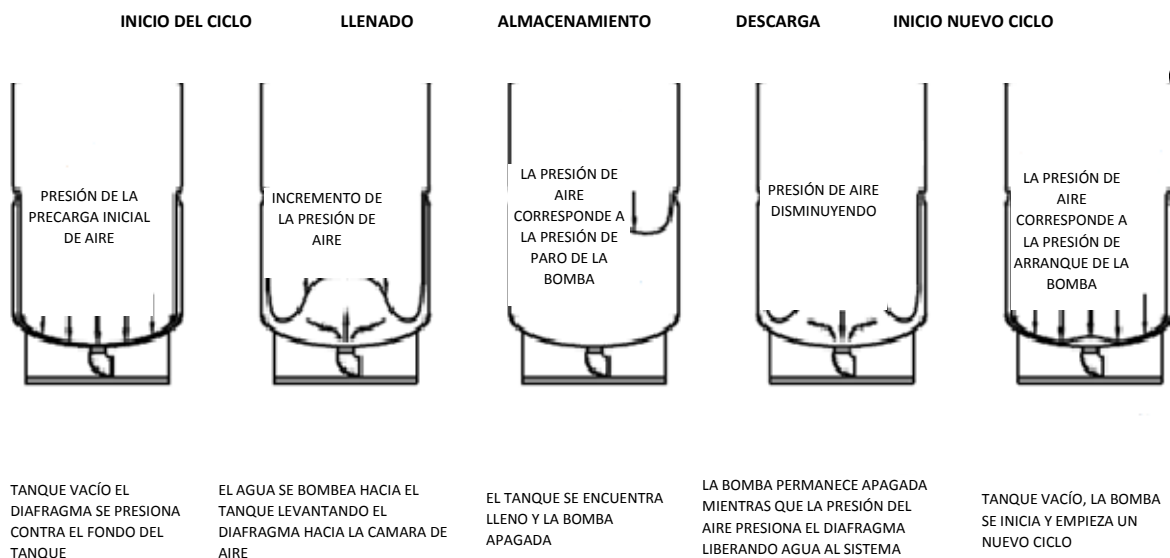
“Este tipo de abastecimiento está fundamentado en la conexión directa desde el medidor hasta la red interior que alimenta los aparatos sanitarios, sin considerar ninguna conexión adicional para el almacenamiento o bombeo del agua. Para instalar este tipo de suministro es necesario que la edificación sea de poca altura y que la red principal disponga de una presión que supla los requerimientos de diseño. Generalmente la presión de servicio mínima que suministra la red principal es de 15 maca o unos 20 PSI” (Empresas Públicas de Medellín, , Segunda Edición 2013).

### ***Abastecimiento indirecto***

Para su funcionamiento el suministro indirecto requiere equipos auxiliares que proporcionen los requerimientos de almacenamiento y abastecimiento de la edificación, la Norma NTC -1500 no es específica con respecto a los equipos de bombeo, su cálculo y diseño; sin embargo, en el Capítulo 6.6 Tanques de reserva de agua presenta criterios que se deben considerar en el cálculo y el diseño. Para el equipo de bombeo se pueden considerar el Capítulo B.8 Estaciones de bombeo del RAS-2000 y las Normas NS-082 y NS-083 de la EAAB, siendo conservadores en diferenciar el tipo de suministro que pretendemos garantizar y el que estas normas establecen. Actualmente se pueden considerar dos tipos de suministro indirecto.

### *Sistema hidroneumático*

Este sistema se basa en el principio de compresibilidad o elasticidad volumétrica del aire cuando se somete a presión.



*Ilustración 10.* Secuencia de funcionamiento del tanque hidroneumático.  
*Fuente:* Manual equipo hidroneumático Hidrostral-Champion.

“Un sistema hidroneumático funciona con el agua que se suministra desde la acometida pública u otra fuente, la cual se retiene en un tanque de almacenamiento, de donde a través de un sistema de bombeo se impulsa a un recipiente a presión (de dimensiones y características calculadas en función de la red), que posee volúmenes variables de agua y aire. Cuando el agua entra al recipiente aumenta el nivel del agua, comprimiendo el aire contenido en el interior y aumentando la presión de éste, hasta un nivel y presión determinados. En este punto el tanque está en capacidad de abastecer la red. Cuando los niveles de presión bajan debido a la pérdida de agua en el interior del recipiente generada por el consumo, se acciona el mando de encendido de la bomba y ésta comienza a impulsar el agua al interior del recipiente” (Argueta Méndez E. A.,

2011). En la Ilustración 10 se presenta la secuencia del funcionamiento en un tanque hidroneumático

Los sistemas hidroneumáticos se pueden dividir en dos tipos: los de tanque horizontal y los de tanque vertical. El criterio de elección es la capacidad de almacenamiento y distribución.

El sistema hidroneumático deber estar construido y dotado de los componentes que se indican a continuación:

- a) Un tanque de presión, que consta, entre otros, de un orificio de entrada y otro de salida para el agua (en éste se debe mantener un sello de agua para evitar la entrada de aire en la red de distribución) y uno para la inyección de aire en caso de que este falte.
- b) Un número de bombas acorde con las exigencias de la red (una o dos para viviendas unifamiliares y dos o más para edificaciones mayores).
- c) Interruptor eléctrico para detener el funcionamiento del sistema en caso de que falte el agua, cualquiera que fuere el suministro.
- d) Llaves de purga en las tuberías de drenaje.
- e) Válvula de retención en cada una de las tuberías de descarga de las bombas al tanque hidroneumático.
- f) Conexiones flexibles para absorber las vibraciones.
- g) Llaves de paso entre la bomba y el equipo hidroneumático, y entre éste y el sistema de distribución.
- h) Manómetro. (\*)
- i) Válvula de seguridad.
- j) Dispositivo para control automático de la relación aire/agua. (\*)

- k) Interruptores de presión para arranque a presión mínima y parada a presión máxima, arranque aditivo de la bomba en turno y control del compresor. (\*)
- l) Indicador exterior de los niveles en el tanque de presión, para la indicación visual de la relación aire/ agua.
- m) Tablero de potencia y control de los motores.
- n) Dispositivo de drenaje del tanque hidroneumático, con su correspondiente llave de paso. (\*)
- o) Compresor u otro mecanismo que reponga el aire perdido en el tanque hidroneumático.
- p) Filtro para aire en el compresor o equipo de inyección.

(\*) Nota: para los sistemas instalados en viviendas unifamiliares y bifamiliares, los requerimientos señalados en los incisos h, j, k y n pueden suprimirse (de Wekker V, Junio 2004).

#### *- Tipos de sistemas hidroneumáticos*

En el mercado existen diferentes tipos de sistemas hidroneumáticos que responden a las necesidades técnicas de diseño, a continuación se describen los más comunes:

- a) *Presurizador o hidrocell.* Consiste en un sistema de presurización completo, en forma de paquete, que proporciona agua a presión constante en toda la red hidráulica de la casa.

Las principales características del presurizador o hidrocell son las siguientes:

- Por su diseño al tener el presurizador unido a la descarga, el recorrido de aspiración es mínimo y es posible reducir pérdidas de carga.

- No necesita tanque ni equipo de control como interruptor de presión y manómetro, el control de encendido y apagado se realiza debido a su tarjeta electrónica.
- Tiene bajo consumo
- Opera automáticamente Es fácil de instalar, ya que se suministra completamente armado y probado, sólo requiere de alimentación eléctrica, conectar la succión del equipo a la fuente de alimentación de agua y a la descarga de la red de la tubería.
- Tiene un rango de suministro de 1 a 3 baños completos (incluyendo cocina y una lavadora), trabajando la instalación al 100%, con tubería de 1/2" de diámetro.



*Ilustración 11.* Presurizador con bomba periférica (1/2 H. P. o 3/4 H. P.).

*Fuente:* Trabajo de grado “Implementación de sistemas hidroneumáticos residenciales, ventajas y desventajas”.

**b)** *Hidroneumáticos simples.* Es un sistema hidroneumático (agua-aire) completo, en forma de paquete, que proporciona agua a presión en toda la red hidráulica de la residencia.

Requiere suministro de electricidad, se debe conectar la succión de la bomba al depósito de agua y descarga del equipo a la tubería. Está diseñado para uso residencial y

comercial. Está fabricado con el criterio de alta calidad para lograr una excelente operación durante muchos años sin problemas de mantenimiento.



*Ilustración 12.* Bomba jet en acero inoxidable. Tanque horizontal (acero)

*Fuente:* Fuente: Trabajo de grado “Implementación de sistemas hidroneumáticos residenciales, ventajas y desventajas”.



*Ilustración 13.* Bombas jet en hierro gris tanque vertical (fibra de vidrio) y bomba multietapas tanque vertical (acero).

*Fuente:* Trabajo de grado “Implementación de sistemas hidroneumáticos residenciales, ventajas y desventajas”

Las principales características de los hidroneumáticos simples son las siguientes:

- Son fáciles de instalar, ya que se suministran completamente armados y probados, sólo requiere alimentación eléctrica y conectar la succión del equipo a la fuente de agua y a la descarga de la red de tuberías.
- Bomba periférica tipo jet (hierro gris o acero inoxidable) o bomba multietapas.
- Bomba en capacidades de 1/2 H. P. hasta 1.0 H. P.
- Tanque en acero con membrana (modelos de 19 a 60 lts) o diafragma en fibra de vidrio con membrana intercambiable.
- Bajo consumo de energía.
- Rango de suministro de 1 a 5 baños completos (incluyendo cuarto de servicio y cocina), trabajando la instalación al 100%, con tubería de 1/2" de diámetro.

c) Hidroneumáticos múltiples. Funcionan igual que los sistemas hidroneumáticos simples, con la diferencia de que utilizan dos o más bombas para generar la presión en el tanque, debido a que se utilizan en estructuras que requieren una mayor presión para alcanzar los niveles más altos o para uso de maquinaria industrial, que requiere más presión de lo normal. Están fabricados para durar muchos años sin problemas de mantenimiento.

Las principales características de los hidroneumáticos múltiples son las siguientes:

- Son fáciles de instalar, ya que se suministran completamente armados y probados, sólo requieren alimentación eléctrica y conectar la succión del equipo a la fuente de agua y a la descarga de la red de tuberías
- Banco de dos a cuatro bombas multietapas, verticales u horizontales (velocidad variable a partir de tres bomba



- Tablero de encendido simultáneo con protección contra sobre corriente, luces piloto, activación manual o automática. En caso de que la demanda sea mayor al flujo de una sola bomba el sistema lo detecta y hace funcionar el número de bombas requerido para mantener una presión constante en toda la línea
- Tubo concentrador de flujo, con unión removible para fácil mantenimiento.
- Tanque precargado (en acero o fibra de vidrio), adecuado a la demanda.
- Base en hierro para fijar las bombas y el tablero de encendido simultáneo, esto facilita su instalación y mantenimiento (Argueta Méndez E. A., 2011).



*Ilustración 14.*Equipo hidroneumático con dos bombas multietapas con tanque vertical en acero.  
*Fuente:* Trabajo de grado “Implementación de sistemas hidroneumáticos residenciales, ventajas y desventajas

#### *Sistema a presión constante*

Este sistema suministra agua a una red de consumo mediante unidades de bombeo que trabajan directamente contra una red, se basa en el principio de que “la presión ejercida sobre la superficie de un flujo se transmite con igual intensidad en todas las direcciones”, del físico y matemático francés Blaise Pascal (1623-1662).

Los componentes básicos de un sistema a presión son los siguientes:

- Unidad de bombeo
- Tuberías succión, descarga y conducción
- Válvulas
- Sistema eléctrico de potencia y control
- Protecciones contra golpe de ariete
- Equipos consumidores

Los sistemas de bombeo a presión constante se dividen en dos grupos:

- *Sistema de bombeo contra red a velocidad fija*

Son aquellos en donde dos o más bombas trabajan en paralelo a una velocidad invariable para cubrir demandas de consumo instantáneo de la red. Este sistema se puede convertir a uno de presión constante cuando se requiere una presión uniforme, con la ayuda de válvulas reguladoras.

- *Sistema de bombeo contra red a velocidad variable*

Son aquellos sistemas en los cuales la unidad de bombeo varía su velocidad de funcionamiento en razón al caudal de demanda de la red, mediante el cambio de velocidad en el impulsor de la bomba. En la práctica, los sistemas de velocidad variable se justifican sólo en redes con amplios rangos de fluctuación de caudal y valores de fricción altos (A&L Industries Peru S.R.L, s.f.).

### **Aparatos sanitarios presentes en una red**

Los aparatos sanitarios son elementos que se utilizan para la higiene personal o doméstica y la evacuación de líquidos y/o sólidos, que generalmente se instalan de forma fija como parte integral de los acabados en una edificación. Entre los aparatos sanitarios más comunes tenemos:

- Plato de duchas y tinas
- Lavamanos
- Lavaplatos
- Inodoros
- Orinal y bidets
- Fregadero
- Bebederos
- Calentadores

Estos elementos requieren una conexión directa a la red de agua potable para asegurar su buen funcionamiento. El diseño debe garantizar en cada aparato el caudal y la presión mínima requeridos.

### **Caudal mínimo requerido**

El caudal mínimo requerido en el diseño de la red de distribución de agua en una edificación es el caudal que requiere cada aparato para su correcto funcionamiento. La suma de estos caudales es el caudal máximo posible que se puede presentar en una red de distribución (Castro Ladino, Garzón Garzón, & Ortiz Mosquera, 2006).

En la tabla 3 se presentan los caudales mínimos requeridos de los aparatos más comunes.

### **Presión mínima requerida**

La presión mínima requerida en cada aparato es aquella que permite su óptimo funcionamiento. El diseño y construcción de la red debe garantizar este valor en cada uno de los aparatos, justo en el punto de conexión, que generalmente es la salida del tubo en el muro donde va empotrado el aparato. La Norma NTC-1500 establece la presión mínima en metros columna

de agua de algunos elementos. En la tabla 3 se amplía la información contenida en esta norma, incluyendo otros elementos.

*Tabla 3. Gasto-caudal, diámetro y presión mínima requerida de aparatos sanitarios*

Aparato sanitario o salida	Q <sub>min</sub>	Diámetro mínimo	Presión mínima
	lt/sg	pulg	m.c.a.
Bañera	0.3	¾	2
Bebedero	0.1	½	2.5
Bidet	0.1	½	3
Calentador eléctrico	0.3	¾	2
Ducha	0.2	½	1.5
Inodoro de tanque	0.15	½	2
Inodoro de fluxómetro	1, 2, 2.5	1, 1 ¼, 1 ½	7 a 14
Lavadero	0.2, 0.3	½	2
Lavaescobas	0.3	½	2
Lavamanos	0.19	½	2
Lavaplatos	0.2, 0.3	½	2
Manguera jardín ½	0.25	½	10
Manguera jardín ¾	0.3	¾	10
Orinar sencillo	0.15	½	2
Orinar fluxómetro muro	1 a 2	¾	5 a 10
Orinar fluxómetro pedestal	1 a 2.5	1 ¼,	7 a 14
Surtidor grama	0.2	½	10
Vertedero	0.2	½	2
Hidrante gabinete muro	3.2	1 ½	45
Boquilla ½ a 5/8	2.2	1 ½	22

Hidrante gabinete muro	16	2 ½	45
Boquilla 1 a 1/8	14	2 ½	35

Fuente: Adaptación de NTC-1500.

### **Demanda del suministro de agua (unidad de consumo)**

La Norma NTC-1500, en el numeral 6.9.3, establece que para estimar la demanda del suministro de agua de los diferentes aparatos sanitarios se utilizan las unidades de consumo, las cuales se relacionan en la tabla 4 y se explican a continuación:

La unidad de consumo promedio,  $UC$  es el gasto normal o promedio demandado por un lavamanos (de tipo privado) en condiciones de funcionamiento normal.

El valor normal de un lavamanos, que se toma como unidad, es entonces el valor medio entre el gasto mínimo de la tabla 3 y el gasto máximo estimado por el método de Hunter original.

Así, para un lavamos privado se tiene:

- Gasto mínimo: 0.19 lt/sg
- Gasto máximo: 0.47 lt/sg

El gasto promedio es 0.33 lt/sg, es decir, la unidad de abasto para este método modificado.

Por tanto:

- $1UC = 0.33 \frac{lt}{sg} \cong 0.3lt/sg$
- $1UC = 20 \text{ lt}/min$  (para la Norma NTC 1500)

En este caso, el factor multiplicador de los gastos mínimos de la tabla 4 es aproximadamente 1.5, es decir, el gasto promedio equivale a un incremento del 50% del gasto mínimo (Astudillo G, n.d.).

Tabla 4 Unidades de abastecimiento de consumo

<b>Aparatos</b>	<b>Ocupación</b>	<b>Tipo de control del suministro</b>	<b>Unidades de consumo</b>
Inodoro	Público	Fluxómetro	10
Inodoro	Público	Tanque de limpieza	5
Orinal	Público	Fluxómetro de $F = 2,5$ cm	10
Orinal	Público	Fluxómetro de $F = 2,0$ cm	5
Orinal	Público	Llave	2
Lavamanos	Público	Llave	4
Tina	Público	Válvula mezcladora	4
Ducha	Público	Válvula mezcladora	4
Fregadero de servicio	Público	Llave	2
Fregadero de cocina	Hotel, restaurante	Llave	4
Inodoro	Privado	Fluxómetro	6
Inodoro	Privado	Tanque de limpieza	3
Lavamanos	Privado	Llave	1
Bidé	Privado	Válvula mezcladora	2
Tina	Privado	Válvula mezcladora	2
Ducha	Privado	Válvula mezcladora	2
Ducha separada	Privado	Válvula mezcladora	2

Fregadero de cocina	Privado	Llave	2
Lavadero de 1 a 3 compartimientos	Privado	Llave	3
Lavadora	Privado	Llave	2
	Público	Llave	4
Lavaplatos eléctricos	Privado	Llave	3
	Público	Llave	6

*Fuente:* NTC-1500.

### **Tubería para la red de suministro de agua potable en una edificación**

En el diseño y construcción de redes de suministro en una edificación se utilizan básicamente dos tipos de tubería, las de PVC/CPVC y las de hierro galvanizado.

#### ***Tubería PVC/CPVC.***

##### *Tubería PVC*

PVC es la denominación con la que se conoce el policloro de vinilo, un plástico que surge a partir de la polimerización del monómero de cloroetileno (también conocido como cloruro de vinilo). Sus componentes derivan del cloruro de sodio y del gas natural o del petróleo, e incluyen cloro, hidrógeno y carbono.

En su estado original, el PVC es un polvo amorfo y blanquecino. La resina resultante de la mencionada polimerización es un plástico que puede emplearse de múltiples maneras, ya que permite producir objetos flexibles o rígidos.

El descubrimiento del PVC se remonta a la primera mitad del siglo XIX e involucra a dos personas. En primer lugar, a Henri Víctor Regnault, quien en 1835 dio con cloruro de vinilo mientras aplicaba una solución alcohólica al dicloretano; además, descubrió el

policloruro de vinilo al exponer el monómero directamente a la luz solar. A pesar de ello no fue consciente de lo que había hallado en su laboratorio y fue necesario el trabajo de Eugen Baumann, casi cuatro décadas más tarde, para crear los primeros productos plásticos (A.N, 2015).

Por sus múltiples ventajas, actualmente el PVC es el material más empleado en el diseño e instalación de las tuberías de distribución de agua potable en una edificación. La tubería empleada debe cumplir con la normas NTC 382 “Tubos de policloruro de vinilo (PVC) clasificados según la presión (serie RDE)”, ver tabla 5. NTC 1339 Accesorios de policloruro de vinilo (PVC) Schedule 40 y NTC 576 para la soldadura.

Tabla 5 Clasificación de la tubería según RDE

Tipo de tubería	Diámetro nominal		Peso gr/mt	Diámetro exterior		Espesor de pared mínimo		Diámetro interior promedio mm
	Mm	pulg		mm	pulg	Mm	pulg	
RDE 9 PVC Presión de Trabajo a 23 °C: 500 PSI	21	1/2	218	21.34	0.84	2.37	0.09	16.6
RDE 11 PVC Presión de Trabajo a 23 °C: 400 PSI	26	3/4	304	26.67	1.05	2.43	0.09	21.81
RDE 13.5 PVC Presión de Trabajo a 23 °C: 315 PSI	21	1/2	157	21.34	0.84	1.58	0.06	18.18
	33	1	364	33.4	1.31	2.46	0.09	28.48
RDE 21 PVC Presión de Trabajo a 23 °C: 200 PSI	26	3/4	189	26.7	1.05	1.52	0.06	23.63
	33	1	252	33.4	1.31	1.6	0.06	30.2
	42	1 1/4	395	42.2	1.66	2.01	0.08	38.14
	48	1 1/2	514	48.3	1.9	2.29	0.09	43.68
	60	2	811	60.3	2.37	2.87	0.11	54.58
	73	2 1/2	1185	73	2.87	3.48	0.14	66.07
	88	3	1761	88.9	3.5	4.24	0.17	80.42
	114	4	2904	114.3	4.5	5.44	0.21	103.42
168	6	5835	168.3	6.62	8.03	0.32	152.22	



RDE 26 PVC Presión de Trabajo a 23 °C: 160 PSI	60	2	655	60.3	2.37	2.31	0.09	55.7
	73	2 1/2	964	73	2.87	2.79	0.11	67.45
	88	3	1438	88.9	3.5	3.43	0.13	82.04
	114	4	2376	114.3	4.5	4.39	0.17	105.52
	168	6	4759	168.3	6.62	6.48	0.25	155.32
RDE 32.5 PVC Presión de Trabajo a 23 °C: 125 PSI	88	3	1157	88.9	3.5	2.74	0.11	83.42
	114	4	1904	114.3	4.5	3.51	0.14	107.28
RDE 41 PVC Presión de Trabajo a 23oC: 100 PSI	114	4	1535	114.3	4.5	2.79	0.11	108.72

Fuente: Manual de presión baja, Pavco; NTC 382.

De igual forma se debe tener en cuenta que todo material en contacto con el agua debe cumplir con los requisitos de la norma ANSI/NSF 61 “Drinking water system components-health effects”. 4.9 Tubería de policloruro de vinilo (PVC).

#### *Tubería CPVC*

Tabla 6 Dimensiones de la tubería CPVC

Tipo de tubería	Diámetro nominal		Diámetro externo	Diámetro interno	Espesor
	Mm	pulg	mm	mm	mm
RDE 11 CPVC	13	½	15.9	12.4	1.75
Presión de trabajo a 82 °C: 125 PSI	19	¾	22.2	18.2	2.00
	25	1	28.6	23.4	2.60
	32	1 ¼	34.9	28.6	3.15
	38	1 ½	41.3	33.7	3.80

Fuente: Adaptación ficha técnica tubería CPVC DUMAR.

La tubería CPVC “Está fabricada con resina de policloruro de vinilo clorado (CPVC) y se emplea para sistemas de agua caliente, fría y helada. También se utiliza en sistemas de

calentamiento central en edificios de altura y construcción en general por ser de alta presión y alto impacto. Trabaja a 125 PSI a 82°C en forma continua. Debe cumplir la norma colombiana NTC 1062” (Durman, 2012). Las dimensiones normales se pueden observar en la tabla 6.

#### *Características de la tubería PVC/CPVC*

Estas dos tuberías, por ser elaboradas con base en los mismos polímeros, tienen características similares, las cuales se describen a continuación:

- Fácil instalación

Son tuberías ligeras en peso (aproximadamente la mitad del peso del aluminio y una sexta parte del peso del acero). Las paredes interiores son lisas y sin costuras. No se requieren herramientas especiales para su instalación, la cual se puede hacer utilizando uno de los siguientes métodos:

- a) Soldada
- b) Roscada
- c) Bridada
- d) Junta ranurada (Roll Grooved)
- e) Espigo-campana (Push-On)

- Resistencia química

El PVC y el CPVC son materiales inertes y se caracterizan por su alta resistencia a la corrosión, a los ataques químicos debido a soluciones salinas, ácidos y álcalis fuertes, alcoholes, y muchos otros químicos.

- Resistencia mecánica

Son tuberías muy elásticas, duras y durables. Poseen una aceptable resistencia a la tracción y al impacto. Están capacitadas para soportar presiones altas por periodos largos.

Su temperatura máxima de servicio es 140 °F (60 °C), con un esfuerzo de diseño de 2000 psi.

- Resistencia al fuego

El PVC y el CPVC son productos auto extingüibles y no son combustibles. Cumplen con la Norma ASTM E-84.

- Libres de toxicidad, olores y sabores

El PVC y el CPVC no son tóxicos, son inoloros e insaboros.

- Libres de corrosión

Son muchos los materiales corrosivos que se conducen a través de las tuberías, los cuales pueden contaminar el fluido, causando mal sabor o decoloramiento. Esto es particularmente indeseable cuando el fluido que se conduce por las tuberías es para el consumo doméstico. Con el PVC y el CPVC no existe ninguna posibilidad de corrosión, por consiguiente, no existe contaminación.

- Pérdida por fricción baja

Las suaves superficies interiores de las tuberías de PVC y CPVC, comparadas con las tuberías metálicas u otros materiales, aseguran bajas pérdidas por fricción y proporcionan movimiento alto de flujos. Además, como estas tuberías no se oxidan con el tiempo se puede garantizar que se mantendrá el caudal inicial por toda la vida útil del sistema.

- Conductividad térmica baja

Las tuberías de PVC y CPVC tienen un menor factor de conductividad térmica que las metálicas; por consiguiente, los fluidos conducidos mantienen una temperatura más constante. En la mayoría de los casos no se requiere el aislamiento de la tubería.

- Costos bajos de instalación

Estas tuberías son sumamente ligeras en peso, lo cual hace que sean más manejables, relativamente flexibles y fáciles de instalar. Estas características influyen en los bajos costos de instalación, comparadas con las tuberías metálicas convencionales.

- Libres de mantenimiento

Una vez que se selecciona, diseña e instala un sistema de tubería en PVC o CPVC queda virtualmente libre de mantenimiento, toda vez que no se oxida, no se descascara, no se pica y no se corroe. Por consiguiente, se pueden garantizar muchos años de servicio libres de mantenimiento (A.n, 2013).

### ***Tubería de polietileno***

Es un producto plástico, incoloro, traslúcido, termoplástico, graso al tacto y blando en pequeños espesores, siempre flexible, inoloro, no tóxico, que se descompone a una temperatura alrededor de los 300°C y menos denso que el agua.

Las características del polietileno varían según el procedimiento empleado para su producción. Se obtiene por la polimerización del gas etileno,  $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ , producto resultante del craqueo de la nafta del petróleo.

Inicialmente se consiguió al someter el etileno a altas presiones, entre 1.000 y 1.500 atmósferas, y temperaturas entre 80 y 300°C, resultando el polietileno denominado de alta presión o baja densidad (PEBD, PE32 o s/CEN PE40).

Últimamente se ha profundizado en su investigación, adicionando determinados polímeros, lo cual ha permitido obtener polietilenos de características físicas y mecánicas más elevadas, denominándose polietileno de 3ª generación (E100).

Las tuberías de polietileno presentan ventajas singulares frente a las fabricadas con materiales tradicionales. Sus principales características son:

- Aislante térmico

Disminuye el peligro de helada de los líquidos en las canalizaciones. En caso de helarse el agua en su interior, el aumento de volumen provoca un incremento de su diámetro, sin llegar a romperse, recuperando su diámetro original después del deshielo.

- Uniones

De rápida y fácil ejecución, que garantizan la estanquidad de la conducción.

- Atóxicas

Cumplen la normativa sanitaria vigente.

- Son inalterables a la acción de terrenos agresivos.

Incluso de suelos con alto contenido de yeso o zonas de infiltraciones peligrosas.

- Resistencia química

Son resistentes a la mayor parte de agentes químicos, tales como álcalis, aceites, alcoholes, detergentes, lejías, etc., excepto disolventes. No obstante, en aplicaciones para la conducción de estos agentes se debe comprobar su comportamiento en las Normas UNE 53.390 y 53.405.

- Bajo factor de fricción

Las paredes del tubo pueden considerarse hidráulicamente lisas y ofrecen una resistencia mínima a la circulación del fluido, produciendo pérdidas de carga inferiores a las tuberías de materiales tradicionales.

- Bajo valor de su módulo elástico

Logran valores de celeridad bajos, que reducen las sobrepresiones por golpes de ariete en comparación con otros materiales.

- Durables

Su vida útil es superior a los 50 años, con un coeficiente residual de seguridad al alcanzar este tiempo.

- Libres de mantenimiento
- Flexibles

Permiten sensibles variaciones de dirección con curvaturas en frío sin necesidad de accesorios, adaptándose a trazados sinuosos. Pueden fabricarse en bobinas con diámetros de hasta 90 mm para grandes longitudes.

- Ligeras

Son fáciles de transportar y montar, lo que se traduce en economía de medios para su instalación (Comercial, Fundición, y Elementos de Construcción, n.d).

En Colombia la tubería de polietileno está regulada en la Norma NTC 4585 (Antecedente ISO 4427) - Tubos de polietileno para distribución de agua. Especificaciones. Serie métrica. La EAAB-ESP acepta tubería tipo polietileno para acometidas domiciliarias para diámetros reales entre 13 mm (1/2") y 25.4 mm (1"), para presiones nominales de 1.103 kPa (160 psi), que cumplan con los requisitos de la Norma NTC 3694 "Plásticos. Tubos tipo CTS de polietileno (PE)".

### ***Tubería de hierro galvanizado***

El galvanizado es un proceso que permite recubrir piezas con otro metal para que las proteja de la oxidación, la corrosión, la humedad y otros agentes externos.

El más común consiste en depositar una capa de zinc (Zn) sobre hierro (Fe), ya que al ser el zinc más oxidable, menos noble que el hierro y generar un óxido estable, lo protege de la oxidación al exponerse al oxígeno del aire.

Se emplea en tuberías para la conducción de agua cuya temperatura no sobrepase los 60 °C, ya que entonces se invierte la polaridad del zinc respecto del acero (Wikipedia, 2014).

La Norma NTC-5890 del 2011-11-30 “Tubos livianos de acero soldados, negros y galvanizados para conducción de fluidos a baja presión” establece los requisitos técnicos que deben cumplir los tubos livianos de acero negros y galvanizados por inmersión en caliente, soldados por resistencia eléctrica y con o sin rosca en diámetros nominales de DN 8 (NPS ¼) a DN 100 (NPS 4), ver tabla 7. Los tubos ordenados bajo esta norma se destinan para la conducción de fluidos a baja presión (menor a 20,7 bar (300 psi)), tales como agua y aire.

*Tabla 7 Dimensiones de tubos livianos*

Diámetro nominal NPS	Diámetro exterior	Espesor de pared	Peso de tubo de 6 m	
			Negro	Galvanizado con rosca
			kg	kg
¼	0.530	0.070	3.072	3.204
3/8	0.666	0.070	3.980	4.158
½	0.815	0.080	5.609	5.831
¾	1.028	0.080	7.235	7.528
1	1.315	0.098	11.378	11.756
1 ¼	1.663	0.098	14.632	15.127
1 ½	1.900	0.105	17.91	18.551
2	2.360	0.116	24.833	25.551
2 ½	2.850	0.133	34.473	35.346
3	3.474	0.133	42.391	43.474
4	4.468	0.150	61.790	63.197

*Fuente:* NTC-5890.

## **Accesorios de una red de distribución**

Los accesorios utilizados en la red de distribución interna de una edificación son los elementos que permiten conectar la tubería dependiendo de la trayectoria diseñada, darle dirección, conexión y continuidad al sistema. Básicamente los accesorios están hechos del mismo material de la tubería y con las mismas características. Estos elementos son los que generan las pérdidas localizadas, las cuales se deben considerar en el cálculo de la red.

En la instalación de la tubería y los accesorios es importante considerar el tipo de unión que se va a emplear. Según el diámetro y uso de la tubería, las uniones más comunes son:

### ***Unión soldada***

Esta unión se caracteriza por utilizar un tipo de solución que posee las mismas características de resistencia a presión y resistencia química de la tubería empleada. Actúa uniendo la tubería y/o los accesorios, generando la hermeticidad de la conexión. La solución se debe seleccionar dependiendo del material de la tubería y las especificaciones del fabricante.

La EAAB-ESP acepta tuberías de policloruro de vinilo (PVC) con unión soldada, para uso en acometidas domiciliarias y derivaciones, en diámetros reales entre 25 mm (1") y 102 mm (4"), para presiones nominales de acuerdo con los valores que se encuentran especificados en la tabla 8 y que cumplan con los requisitos de la Norma NTC 382 "Plásticos. Tubos de Poli (cloruro de vinilo) (PVC), clasificados según la presión (Serie RDE)". Todo material en contacto con el agua debe cumplir con los requisitos de la Norma ANSI/NSF 61 "Drinking water system components-health effects".

### ***Unión mecánica***

La unión mecánica se compone primordialmente de una campana con una ranura rectangular sobre la cual se asienta un anillo de caucho, que está diseñado para trabajar a compresión, incorporando un sello hidráulico. De esta manera, a mayor presión el anillo se hace



más estrecho, mejorando así el sello hidráulico. El otro extremo que se va a unir debe entrar a presión. Para diámetros más pequeños la unión es roscada, con un elemento hembra que tiene ranuras hundidas y un elemento macho con ranuras salientes, que se acoplan perfectamente mientras se enroscan los elementos.

La EAAB-ESP acepta tuberías de policloruro de vinilo (PVC) con unión mecánica, para uso en acometidas domiciliarias, derivaciones y redes externas, en diámetros reales entre 60 mm (2") y 500 mm (20"), para presiones nominales de acuerdo con los valores que se encuentran especificados en la tabla 8 y que cumplan con los requisitos de la Norma NTC 382 "Plásticos. Tubos de Poli (cloruro de vinilo) (PVC), clasificados según la presión (Serie RDE)".

*Tabla 8* Presiones nominales para tuberías de acueducto en policloruro de vinilo (PVC)

<b>Relación dimensional estándar</b>	<b>Presión nominal</b>
<b>(RDE)</b>	<b>KPa (psi)</b>
13,5	2.172 (315)
17	1.724 (250)
21	1.379 (200)
26	1.103 (160)

*Fuente:* Manual de presión baja Pavco.

### **Dispositivos de control**

Los dispositivos de control en una red de agua potable sirven para controlar los caudales, el flujo del agua, la cantidad, el sentido y el manejo que se le va a dar, también se les puede considerar así a los dispositivos de medida de consumo. La norma es muy clara en cuanto a los dispositivos mínimos que se deben instalar, el tipo, la ubicación y los materiales de los cuales deben estar fabricados.

A continuación se describen los dispositivos de control más usados en una red de suministro de agua potable en una edificación y la normatividad que los rige.

### ***Silla o collar de derivación***

La función de este dispositivo es derivar el agua de la red principal a la acometida domiciliaria. Generalmente se fabrican en PVC o hierro galvanizado, se utiliza en tuberías de diámetros pequeños, cuenta con un sistema de fijación especial y, además, posee sellos elásticos para su hermeticidad con la tubería.

En la tabla 9 se presentan las dimensiones del collar de derivación para PVC, de acuerdo con el diámetro del tubo y su salida correspondiente.

**Tabla 9** Dimensiones del collar de derivación para tuberías tipo PVC

<b>Diámetro nominal</b>	<b>Ancho del collar</b>	<b>Perímetro del collar</b>	<b>Diámetro de la salida</b>
<b>Pulg</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>pulg</b>
2	50,40	102,40	1/2
2	50,40	102,40	3/4
2 1/2	50,40	115,00	1/2
2 1/2	50,40	115,00	3/4
3	60,30	131,40	1/2
3	60,30	131,40	3/4
4	60,30	156,80	1/2
4	60,30	156,80	3/4
6	69,90	210,30	1/2
6	69,90	210,30	3/4
8	87,31	279,20	1

*Fuente:* Manual de presión baja Pavco.



*Ilustración 15.* Registro de incorporación galvanizado y en PVC.  
*Fuente:* AgruAcuster.

La Norma NS-128 de la EAAB establece que “las derivaciones para acometidas se deben realizar únicamente en tuberías con diámetros iguales o menores de 12 pulgadas. Los accesorios para derivación de acometida permiten conducir o desviar el agua a una acometida específica para una edificación, se adhieren al contorno o perímetro en un punto determinado de la tubería sin causar deformaciones en el tubo. Los accesorios que componen este sistema deben quedar lo suficientemente fijos para mantener la presión y evitar fugas de agua que lo deterioren”.

### ***Registro de incorporación, corte y usuario***

Este tipo de registros se encuentran ampliamente reglamentados en la NP-061 de la EAAB en cuanto al uso, instalación, materiales y requisitos en general. La Norma NTC-1500 no profundiza mucho en su reglamentación, pero nos proporciona parámetros específicos para su uso.

A continuación se presentan apartes de la NP-061 de la EAAB específicos en el diseño e instalación de redes de suministro para edificaciones:

### **Generalidades**

Para Válvulas de diámetros superiores a 2 pulgadas debe consultarse la norma técnica vigente del Acueducto de Bogotá, "NP-026 Válvulas de compuerta".

Los Registros de Corte que el Acueducto de Bogotá autorice para acometidas menores o iguales a 2", deben tener un sistema de seguridad que permita el bloqueo del flujo de agua, sin que el usuario tenga la posibilidad de operarlo.

En general, los registros no deben generar pérdidas de carga o presión dinámica mayores al 5% de la presión de operación y deben poseer paso directo, sin reducción en el diámetro.

Registro de Incorporación: Válvula de Bola que permite la ramificación de la red de distribución hacia la acometida. La manija de operación debe ser de tipo cuadrante.

Registro de Corte: Válvula de Bola ubicada aguas arriba del medidor de agua en la acometida que va desde la red de distribución hasta el predio del usuario. La manija de operación debe ser como la que se muestra en los esquemas anexos y debe proveer Sistema de Seguridad Antifraude. Este registro es de operación exclusiva de la Empresa y se cierra en caso de suspensión del servicio.

Registro de Usuario: Válvula de Bola ubicada aguas abajo del medidor de agua, para uso o manipulación por parte del usuario.

#### Dimensiones

Los registros deben cumplir con las dimensiones especificadas en la tabla 10.

Tabla 10 Dimensiones para registros

<b>Válvula</b>	<b>½"</b>	<b>¾"</b>	<b>1"</b>	<b>1 ½"</b>	<b>2"</b>
Lr (mm)	13.5 6 3	14 6 3	17.5 6 3	18 6 3	18 6 3
L (mm)	62 6 10	70 6 10	80 6 10	95 6 10	100 6 10
E (mm)	38 6 10	41 6 10	41 6 10	63 6 10	70 6 10
Manija simétrica D (mm)	20 6 10	20 6 10	20 6 10	20 6 10	20 6 10

Manija asimétrica D (mm)	35 6 10	35 6 10	35 6 10	35 6 10	35 6 10
<p>Dónde:</p> <p><math>DN</math> =diámetro nominal de la válvula</p> <p><math>L</math> = longitud del cuerpo</p> <p><math>Lr</math> = longitud de rosca</p> <p><math>D</math> = longitud de la manija</p> <p><math>E</math> = longitud tomada desde la parte superior de la manija hasta el eje horizontal de la esfera del registro.</p>					

Fuente: NP-026 Válvulas de compuerta EAAB.

### Presión de trabajo

Los registros de corte deben estar diseñados y construidos para trabajar a una presión mínima de 10 bares (PN10 ó 150 psi).

### Tipo de conexión (acoples)

El tipo de conexión que debe proveerse en el registro depende del tipo de material de tubería utilizado en la acometida y del tipo de registro según su aplicación, como se describe a continuación:

Los extremos de acople (juntas roscadas) de los registros deben satisfacer los requisitos establecidos por las siguientes normas, según el tipo de tubería utilizado en la acometida:

- a) "NTC 332 Tubería metálica. Roscas para tubería destinada a propósitos generales (Dimensiones en pulgadas)"
- b) "ANSI B16.1 Cast iron pipe flanges and flanged fittings, class 25, 125, 250, and 800"
- c) "ANSI B16.5 Pipe flanges and flanged fittings"

Registro de Incorporación: El Registro de Incorporación debe poseer en el extremo de conexión a la red de distribución una rosca macho de tipo cónico; y en el extremo de conexión a la tubería de la acometida puede ser de tipo hembra o macho, para utilización de Acople Adosado (acople independiente del registro) para diferentes tipos de tubería, o con Acople Incorporado (acople adjunto al registro para tubería PF+UAD o dimensiones CTS).

Registro de Corte: El tipo de conexión del registro de corte en el extremo de conexión al medidor puede ser de tipo hembra con rosca recta, o poseer Acople Incorporado (acople adjunto al registro), de tal manera que su conexión sea directa al medidor; y en el extremo de la conexión a la tubería de la acometida puede ser de tipo hembra o macho, para utilización de Acople Adosado (acople independiente del registro) para diferentes tipos de tubería, o con Acople Incorporado para tubería PF+UAD o dimensiones CTS.

El registro de corte puede ser telescópico con un extremo de dimensión variable que debe ser parte integral de la válvula con acople directo al medidor.

Registro de Usuario: El tipo de conexión del registro de usuario en el extremo de conexión al medidor puede ser de tipo hembra con rosca recta, o poseer Acople Incorporado (acople adjunto al registro), de tal manera que su conexión sea directa al medidor; y en el extremo de conexión a la tubería de la acometida puede ser de tipo hembra o macho, para utilización de Acople Adosado (acople independiente del registro) para diferentes tipos de tubería.

En las ilustraciones 16, 17 y 18 se presentan los diferentes tipos de registros, según la NP-061 de la EAAB.



*Ilustración 16. Registro de incorporación.  
Fuente: DisAguas S.A.S.*



*Ilustración 17. Registro de corte.  
Fuente: DisAguas S.A.S.*



*Ilustración 18. Registro de usuario.  
Fuente: DisAguas S.A.S.*

### Rotulado

Cada registro debe contener la siguiente información, estampada mediante un sistema apropiado un rotulo legible en el que aparezcan, como mínimo:

- a) Marca del fabricante

- b) Tamaño nominal (DN)
- c) Presión nominal de servicio
- d) País de origen
- e) Lote de producción o fecha de fabricación
- f) Logotipo de la EAAB en alto o bajo relieve (opcional)

Cabe resaltar que el registro de usuario es el mismo que la NTC-1500 denomina válvula de corte, que tiene otros tipos de uso en la red de suministro, los cuales determina la NTC-1500 como sigue:

- Se debe instalar una válvula de corte a la salida de cada medidor hacia la instalación interna.
- La tubería de agua que abastece a más de un edificio se debe equipar con una válvula de corte separada para cada uno, instalada de tal manera que el suministro de agua se pueda abrir o cerrar por separado; sin embargo, la tubería de suministro a una residencia unifamiliar y a un edificio adjunto se puede controlar con una válvula.
- Las válvulas de cierre deben ser accesibles en todo momento.
- Se debe instalar una válvula de corte en la acometida de tanques de almacenamiento de agua o cerca de éstos.
- Se debe instalar una válvula de corte en la tubería de suministro de agua fría. Para el calentador de agua se puede instalar en él o cerca.
- Se debe instalar una válvula de corte para cada apartamento o residencia.
- Las válvulas de 51 mm de diámetro deben cumplir con las características de calidad especificadas por las normas técnicas correspondientes o por el fabricante. Los diámetros superiores a 51 mm pueden tener cuerpos de hierro fundido, hierro dúctil o de



bronce amarillo. Cada válvula de compuerta debe ser del tipo completamente abierto, elaboradas con material inoxidable.

### ***Válvula de compuerta***

“Ésta funciona con una placa que se mueve verticalmente a través del cuerpo de la válvula en forma perpendicular al flujo. Tiene la ventaja de que permite saber con facilidad si la válvula está abierta o cerrada. Se utiliza para el flujo de fluidos limpios y sin interrupción” (Louis S, 1965). Cuando la válvula está totalmente abierta el área de flujo coincide con el diámetro nominal de la tubería, razón por la cual las pérdidas de carga son relativamente pequeñas.

Según la NTC-1500, en los edificios de más de cuatro pisos las tuberías verticales de suministro y distribución deben estar provistas, en su parte inferior, de una llave de compuerta que permita aislarlas del servicio y de un dispositivo para vaciarlas.



*Ilustración 19.* Válvula de compuerta.

*Fuente:* FP Faucets.

### ***Válvulas de retención o cheque***

Son válvulas integrales de funcionamiento automático que se mantienen abiertas por la presión del flujo que circula. Sólo se cierran con el paso del mecanismo de retención o por la contrapresión cuando se invierte el flujo.

Las válvulas de retención tienen el propósito de permitir el flujo en un solo sentido, evitando la inversión del flujo en las tuberías. Una de sus aplicaciones más frecuentes es en la descarga de bombas, evitando que cuando éstas se detengan el flujo bombeado regrese (Louis S, 1965).



*Ilustración 20.* Válvula de retención o cheque.

*Fuente:* Urrea Tecnología para vivir el agua.

Según la NTC-1500, para las válvulas de retención se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Tanto la tubería de entrada de agua fría al equipo de calentamiento como la red de retorno de agua caliente deben contar con válvulas de cheque.
- La tubería de descarga del equipo de bombeo debe ser mínimo de 50 mm de diámetro, y debe contar con válvula de cheque para cada bomba y una unión de tipo universal o de brida para operaciones de mantenimiento, ambas del mismo diámetro de la tubería.
- Las válvulas de cheque deben estar construidas para asegurar un cierre mecánico y para permanecer cerradas, excepto cuando estén descargando desechos. Dichas válvulas permanecerán suficientemente abiertas durante periodos de bajo caudal para evitar la retención de sólidos, y no deben restringir capacidades o causar turbulencia excesiva

durante la demanda máxima. A menos que esté definido de otro modo, las compuertas de acceso deben ser del tipo atornillado con empaque, y cada válvula tendrá fundido en su cuerpo y cubierta el nombre de su fabricante.

### ***Medidores***

Según la NT-001 de la EAAB “Medidores de agua potable. Definiciones y clasificación”

los medidores se clasifican en:

#### *Según el principio de funcionamiento:*

*Medidores mecánicos:* Aquellos en los que el dispositivo de medida es accionado directamente por el empuje hidrodinámico (energía de presión o energía de velocidad) del agua.

*Medidor volumétrico:* Dispositivo colocado dentro de un conducto cerrado, compuesto por cámaras de volumen conocido y por un mecanismo accionado por la presión del flujo, mediante el cual estas cámaras se llenan y vacían sucesivamente con agua. Con base en el conteo del número de los volúmenes que pasan a través de él, el mecanismo registrador totaliza e indica el volumen. También se denominan medidores de desplazamiento positivo.

*Medidores de Velocidad:* Los que aforan el consumo de acuerdo con un dispositivo de medida de velocidad, tal como un rotor, hélice o turbina. Dispositivo colocado dentro de un conducto cerrado y compuesto por un elemento móvil accionado directamente por la velocidad del flujo de agua. El movimiento se transmite luego, mediante procedimientos mecánicos o de alguna otra naturaleza, al mecanismo indicador, el cual totaliza e indica el volumen.

Si el flujo de agua hace contacto con la periferia del rotor en un solo punto, se denomina medidor de chorro único; si el flujo hace contacto simultáneamente en varios puntos alrededor de la periferia del rotor, se denomina medidor de chorro múltiple.

Medidor Woltmann: Dispositivo mecánico que cuenta con una cuchilla o hélice helicoidal, la cual gira alrededor de la línea central en el conducto o paso de agua (de sección circular) en el medidor. Está clasificado como medidor de velocidad.

Medidores combinados: En éstos la unidad está constituida por dos medidores con capacidad nominal diferente, rangos de medida que se traslapan y una válvula de conmutación que accionada por el agua, regula automáticamente la distribución del caudal entre los dos medidores. Pueden estar conectados en serie o en paralelo y se emplean en aquellos casos en que el consumo tiene un amplio rango de variación.

Medidores proporcionales: Este tipo de aparato se diseña para medir grandes caudales de agua con pérdida de carga mínima. La medida del caudal se hace en un medidor pequeño en paralelo en la línea aforada, calibrada en tal forma que registra el consumo total en proporción al agua derivada. Generalmente adoptan la forma combinada, es decir, tienen un medidor para caudales pequeños y una válvula diseñada de tal modo que con los grandes caudales funcione el medidor proporcional. Se emplean en conducciones destinadas a protección contra incendio, las cuales requieren un flujo con baja pérdida de presión.

Medidores de presión diferencial: Aquellos en los que el dispositivo de medida se compone de un elemento estrangulador de la vena líquida (placa de orificio, tobera, tubo tipo Venturi) que ocasiona una pérdida de carga. El principio de medida se basa en la proporcionalidad entre el caudal y la raíz cuadrada de la pérdida de carga. Debido a su alta precisión, se emplean tanto en la medida de suministros globales a un sistema de

acueducto, como en la calibración de los medidores de efecto doppler, electromagnéticos y por ultrasonido.

Medidores electromagnéticos: El principio de estos medidores se basa en la generación de una fuerza electromotriz por la acción de un campo magnético sobre una vena líquida en movimiento.

Medidores por ultrasonido: Aquellos que basan su principio en el tiempo de retardo de una señal emitida por una fuente de ultrasonido producido por el efecto del flujo de agua, con respecto al tiempo normal de viaje de una onda de sonido de alta frecuencia en el mismo tubo lleno de agua pero con flujo = 0. Este tiempo, como factor del área del ducto, determina el caudal medido. Generalmente se utilizan para grandes caudales

Medidor en línea: Tipo de medidor de agua colocado directamente en un conducto cerrado por medio de las conexiones (roscadas) suministradas.

Medidor Concéntrico: Tipo de medidor de agua acoplado a un conducto cerrado por medio de un accesorio llamado distribuidor, mediante el cual los pasos de entrada y salida del medidor y del distribuidos, y la interfaz entre ellos, son coaxiales.

Medidor Completo: Medidor que no tiene un transductor de medida separable (incluido el sensor de flujo) ni calculadora (incluido el dispositivo indicador).

Medidor Compuesto: Medidor que tiene un transductor separable (incluido el sensor de flujo) y calculadora (incluido el dispositivo indicador).

#### Según el Tipo de Registrador

Medidores de esfera húmeda: Los que tienen el registrador de consumo sumergido en el agua que se ha de medir (el agua que pasa a través de ellos).

Medidores de esfera seca: Los que tienen el registrador de consumo fuera del alcance del agua que pasa a través de ellos.

Medidores con registrador inmerso en líquido diferente al agua que miden: Son aquellos en los cuales el registrador está inmerso en un líquido como glicerina para mejorar su lubricación y evitar vibraciones o saltos de los indicadores, en una unidad sellada, con lo cual el registrador de consumo está fuera del alcance del agua que pasa a través del medidor.

Según la Temperatura del Agua cuyo Paso se Registre:

Medidores para agua fría: Los que se utilizan para registrar el paso del agua con temperatura hasta de 40°C.

Medidores para agua caliente: Los que se utilizan para registrar el paso del agua con temperaturas entre 40° y 70°.

Según la Calidad del Agua cuyo Paso Registren:

Medidores para agua potable: Los que se utilizan para el agua apta para Medidores consumo humano.

Medidor para agua no potable: Los que se utilizan para aguas que no se destinan para consumo humano

Según la Posición de la Tubería en la que van a ser Instalados:

Medidores horizontales: Aquellos cuya precisión de referencia o clase metrológica solo se obtiene si son instalados de tal forma que su eje longitudinal y la tubería correspondiente queda en posición horizontal.

Medidores verticales: Aquellos cuya clase metrológica se obtiene o se mantiene si son instalados de tal forma que su eje longitudinal y la tubería correspondiente queda en posición vertical.

Para los medidores en instalaciones domiciliarias podemos remitirnos a la Norma NP-004 de la EAAB y para medidores de grandes superficies a la Norma NP-122 de la EAAB.

### **Acometida**

La acometida es el tramo de tubería que conecta la red de distribución principal con la red interior de la edificación. Usualmente llega hasta la válvula de corte general y debe cumplir con las especificaciones propias de la empresa prestadora del servicio, en cuanto a accesorios, distribución y parámetros técnicos.

La Norma NTC-1500 estipula que debe calcularse para un tiempo de llenado no mayor a 12 h. Las normas de la EAAB presentan especificaciones generales para la instalación de la acometida domiciliaria, dependiendo del diámetro que se utilice. A continuación se presentan apartes de estas normas relevantes para el tema en estudio.

#### ***Norma NS-024 de la EAAB “instalación de acometidas domiciliarias de acueducto, diámetros 1/2" y 3/4" ”***

##### *Generalidades*

La conexión a la red de distribución se hace por medio de una Silla de Derivación (Collar de Derivación o Galápago). Con la utilización de este sistema como conexión, no es necesario suspender el servicio durante la instalación de la acometida.

El registro de corte debe ser instalado inmediatamente antes del medidor (aguas arriba) y dentro de la misma cajilla del medidor. La cajilla del medidor será instalada en el andén en la zona pública o en el límite entre la zona pública y la zona privada, entre el predio y la red de alimentación que pasa frente al mismo.

En los casos de edificios y conjuntos residenciales, la cajilla del medidor de cada una de las unidades de vivienda deberá estar en el área comunal, con acceso al personal de la EAAB.

Los medidores con principio de funcionamiento "velocidad" deberán instalarse en acometidas horizontales; para las acometidas verticales deberán utilizarse medidores con principio de funcionamiento "volumétrico"

La Acometida según su longitud puede clasificarse en:

Acometida corta: Es aquella acometida cuya longitud es menor o igual a 6 m.

Acometida larga: Es aquella acometida cuya longitud es mayor de 6 m y menor o igual a 20 m. Éste último se define como el límite máximo de longitud de instalación de Acometida por parte de la EAAB, y es el sitio en el cual se instalará la cajilla y sus accesorios (registro de corte y medidor) y hasta el cual se garantizará la cabeza de presión de agua mínima reglamentada cuando esto aplique. La instalación de la acometida desde este punto hacia aguas abajo será por parte del usuario

Materiales para acometidas según el diámetro y la localización del medidor

Acometidas de 1/2" y 3/4" con medidor en piso: Los materiales básicos para la instalación de este tipo de acometida en 1/2", son los siguientes:

- Una silla o collar de derivación según la norma "NP-011 Accesorios para acueducto".
- Un registro de incorporación de 1/2", según la norma "NP-061 Válvulas de bola, con diferentes tamaños y aplicaciones (registros de incorporación, corte, y usuario)".
- Tubería de Polietileno "NP-032 Tuberías para acueducto".
- Un registro de corte de 1/2", según la norma "NP-061 Válvulas de bola, con diferentes tamaños y aplicaciones (registros de incorporación, corte, y usuario)".



- Un medidor tipo DN 15 mm con sus respectivos racores, tuercas y empaques coupling, según la norma "NP-004 Medidores domiciliarios de agua potable fría".
- Un registro de usuario de 1/2", según la norma "NP-061 Válvulas de bola, con diferentes tamaños y aplicaciones (registros de incorporación, corte, y usuario)".
- Una cajilla unitaria en concreto reforzado con malla electro soldada con su respectiva tapa y marco de acuerdo con la norma vigente del acueducto de Bogotá "NP-021 Cajilla unitaria de piso para medidores de 1/2" y 3/4"" y "NP-022 Tapa con marco para la cajilla unitaria de medidores de 1/2" y 3/4"".
- Cinta teflón en cantidad adecuada para evitar escapes.
- El medidor para las acometidas de 3/4" debe ser tipo DN 20 mm.

Acometidas de 1/2" con medidor en muro Los materiales básicos para la instalación para esta acometida, son los siguientes:

- Una silla o collar de derivación según la norma "NP-011 Accesorios para acueducto".
- Un registro de incorporación de 1/2", según la norma "NP-061 Válvulas de bola, con diferentes tamaños y aplicaciones (registros de incorporación, corte, y usuario)".
- Tubería de Polietileno, según la norma "NP-032 Tuberías para acueducto".
- Tubería en HG según la norma "NTC 2587 Tubos, acoples y accesorios de hierro dúctil y sus juntas, para aplicaciones en gas o agua".
- Un registro de corte de 1/2", según la norma "NP-061 Válvulas de bola, con diferentes tamaños y aplicaciones (registros de incorporación, corte, y usuario)".
- Un medidor tipo DN 15 mm con sus respectivos racores, tuercas y empaques coupling, según la norma "NP-004 Medidores domiciliarios de agua potable fría".

- El medidor para las acometidas de ¾" debe ser tipo DN 20 mm.
- Un registro de usuario de ½", según la norma "NP-061 Válvulas de bola, con diferentes tamaños y aplicaciones (registros de incorporación, corte, y usuario)".
- Una cajilla para medidor en muro con división metálica. La cajilla debe cumplir con las consideraciones de la norma del ACUEDUCTO DE BOGOTA "NP-006 Cajillas para medidores en nicho"
- Acoples y niples de unión desde el registro de corte hasta el medidor
- Cinta teflón en cantidad adecuada para evitar escapes.
- Transición para tubería flexible a rígida

#### Servicio temporal de acueducto

El diámetro para la acometida se determinará con base en la estimación del consumo mensual que requiera el usuario. Dicha estimación será total responsabilidad del mismo. La Empresa recomienda adoptar para estas conexiones diámetros de ½" para consumos mensuales hasta de 170 m<sup>3</sup>, y diámetros de ¾" para consumos superiores al anterior y hasta 370 m<sup>3</sup> mensuales.

#### ***Norma NS-009 de la EAAB "instalación de acometidas de acueducto, diámetros entre 1" y 6"***

#### Generalidades

Tuberías: Las tuberías utilizadas en la instalación de las acometidas deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma del ACUEDUCTO DE BOGOTÁ "NP-032 Tuberías acueducto".

Medidores: Sólo podrán instalarse medidores de consumo de agua potable que sean del tipo electromagnéticos de caudal que cumplan con las estipulaciones de la Norma de la EAAB "NP-122 Medidores de flujo para grandes consumidores".

El tipo, la clase metrológica y los tamaños de los medidores se deben determinar de acuerdo con las condiciones de operación de la instalación particular, teniendo en cuenta, los siguientes criterios:

- La presión de suministro disponible.
- Las características físicas y químicas del agua.
- Los caudales característicos  $Q_{\min}$  y  $Q_{\max}$  del medidor deben ser compatibles con el perfil de consumo esperado. En la tabla 11 se indican los tamaños de los medidores de acuerdo a los caudales máximo y mínimo de cada uno.
- La concordancia del tipo de medidor con respecto a las condiciones de instalación descritas en esta norma.

Tabla 11 Medidores de flujo electromagnético, tamaños y caudales

DIN DN	Pulg	GPM		lt/sg		GPH		m <sup>3</sup> /hora	
		Q mín	Q máx	Q mín	Q máx	Q mín	Q máx	Q mín	Q máx
15	1/2	0.29	29	0.018	1.80	17.20	1712	0.065	6.5
20	3/4	0.528	52.8	0.033	3.33	31.7	3167	0.12	12
25	1	0.79	79	0.05	5	47.60	4755	0.18	18.00
32	1 1/4	1.32	132	0.082	8.33	79.30	7925	0.30	30.00
40	1 1/2	1.98	198	0.125	12.50	118.90	11888	0.45	45.00
50	2	3.17	317	0.20	20	190	19020	0.72	72.00
65	2 1/2	5.28	528	0.333	33.33	317.00	31700	1.20	10.00
80	3	7.28	793	0.5	50	475.50	475522	1.80	180.00
100	4	12.33	1233	0.78	77.77	739.60	73692	2.80	280.00
125	5	18.93	1893	1.940	119.44	1136	113594	4.30	430.00
150	6	28.62	2862	1.805	180.55	1717	171711	6.50	650.00

Fuente: NS-009 EAAB.

### Generalidades de la instalación de medidores

Los medidores se pueden agrupar para facilitar su acceso, servicio y lectura, cuando sea necesario dividir el suministro de agua en un cierto número de ramales, como en el caso de un conjunto de diferentes pisos de un edificio o cuando sea necesario unir varios flujos en un conducto común, como en el caso de una planta de tratamiento.

Es necesario evitar la presencia aguas arriba y aguas abajo de codos que puedan formar remolinos o accesorios que generen distorsiones de velocidad. Para controlar lo anterior, se debe dejar una longitud adecuada de tubería recta aguas arriba del medidor de cinco (5) veces el diámetro nominal de medidor y una longitud adecuada de tubería recta aguas debajo de tres (3) veces el diámetro nominal del medidor.

En el caso de medidores que operan en paralelo, la salida de funcionamiento de uno o más medidores no debe implicar que los restantes medidores queden operando a un caudal superior a su límite individual de operación. Con el propósito de garantizar que medidores diferentes operen satisfactoriamente en paralelo, sus características individuales deben ser compatibles, es decir, deben agruparse de acuerdo con su caída de presión, su intervalo de caudales de operación y su presión máxima de trabajo. Sin embargo, las condiciones de instalación para cada medidor deben conservarse para cada caso particular. Los medidores se pueden operar en paralelo en los siguientes casos:

- a) Cuando no sea posible o práctica la instalación de un medidor de gran tamaño, debido al caudal requerido
- b) Cuando sea necesario instalar medidores en "reserva" con el objeto de garantizar la continuidad en la descarga y la medición de su flujo".

### Materiales para acometidas

Los materiales básicos para las acometidas contenidas en el alcance de esta especificación son los que se relacionan a continuación. Sin embargo, de acuerdo con las exigencias establecidas por ésta norma, con las condiciones del terreno, longitudes de tubería, y con la clase de medidores y sistema de operación de los mismos, entre otros aspectos, podrán requerir de elementos y/o accesorios adicionales.

Se deberán considerar las diferentes combinaciones de materiales requeridos para las derivaciones de la red de suministro, de acuerdo con el tipo de empate que se pueda presentar cada acometida en particular, teniendo en cuenta el material de la tubería de la red y el material de la tubería a utilizar en la acometida. Para lo anterior, se tendrá en cuenta la norma vigente de la EAAB “NS-023 Empates de tuberías en redes de acueducto”.

Los materiales básicos a incluir en las cajas para la instalación de acometidas son los siguientes:

- a) Dos uniones Dresser, una a la entrada y otra a la salida de la tubería de la caja.
- b) Dos válvulas de compuerta bridadas de acuerdo con la norma "NP-026 “Válvulas de compuerta” del ACUEDUCTO DE BOGOTA.
- c) Niples bridados aguas arriba y aguas abajo del medidor.
- d) Un medidor electromagnético bridado con su sensor.
- e) Un gabinete con los elementos correspondientes al medidor, según lo indicado en la Norma “NS-144 Instalación de macro medidores electromagnético y ultrasónicos”
- f) Una bomba de achique apropiada a las dimensiones de la caja.

### Instalación de la acometida

#### Consideraciones generales

El diámetro de la en acometida debe ser menor o igual que el diámetro de la red. La acometida se instala en la dirección del inmueble para el cual se solicitó. Su derivación de la red de distribución debe ser en el sentido perpendicular.

Se ubica frente al inmueble la red de distribución y se determina el tipo de acometida (larga o corta). Para este caso se tiene en cuenta la ubicación de la red en planos y/o la ubicación física en terreno al localizar las válvulas de la red. Si la acometida es larga, se debe considerar primero la posibilidad técnica de instalar "la acometida con gato" con el fin de evitar realizar roturas de la calzada.

La caja del medidor deberá quedar siempre fuera del predio. Se localiza el lugar de instalación de la caja en la zona del andén a una distancia del paramento de la vivienda de 0.30 m como mínimo, y la zona donde se deben llevar a cabo los cortes, roturas y excavaciones. La caja no debe quedar en el sitio de acceso vehicular con el fin de evitar daños a la misma debido a la circulación de vehículos automotores.

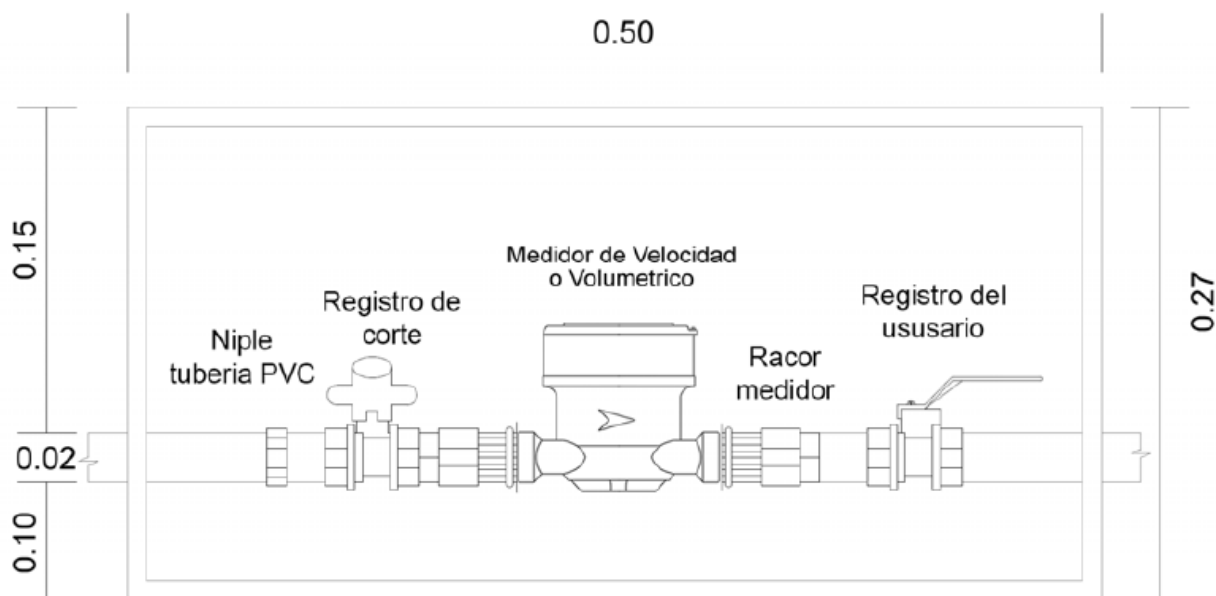
La caja deberá estar orientada en forma perpendicular a la red de distribución, es decir, en forma paralela a la dirección del flujo de la red. En caso de no contar con el suficiente espacio en el andén, debido a las dimensiones de la caja y la disponibilidad de espacio físico, se permite cambiar la orientación de la caja del medidor de forma que pueda ir paralela a la vía en su lado largo, siempre que se disponga de una longitud mínima de diez (10) diámetros de longitud de tubería recta después de los codos requeridos aguas arriba del medidor y siete (7) diámetros de longitud de tubería recta aguas abajo del mismo.

Según el Manual técnico para constructores y urbanistas de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio, EAAV ESP, las especificaciones para la instalación de medidores en nicho son las siguientes:

Las cajillas para medidores en nicho son las que están diseñadas para instalarse en un muro levantado para tal fin.

La altura mínima a la que debe estar ubicado el primer medidor es de 0.40 m y la altura máxima para el último medidor es de 1.50 m(Villavicencio, Octubre 2003).

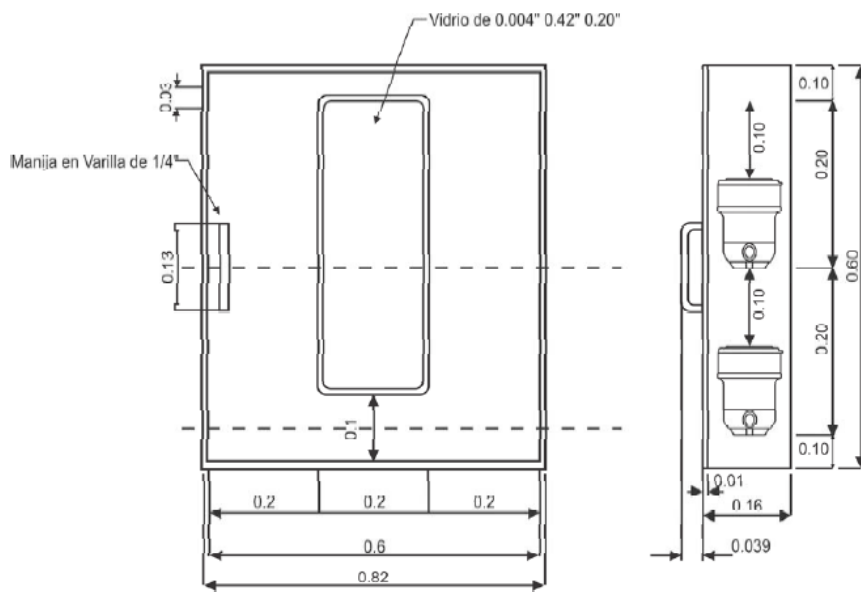
En la ilustración 21 se presenta un esquema típico de acometida en muro de edificios.



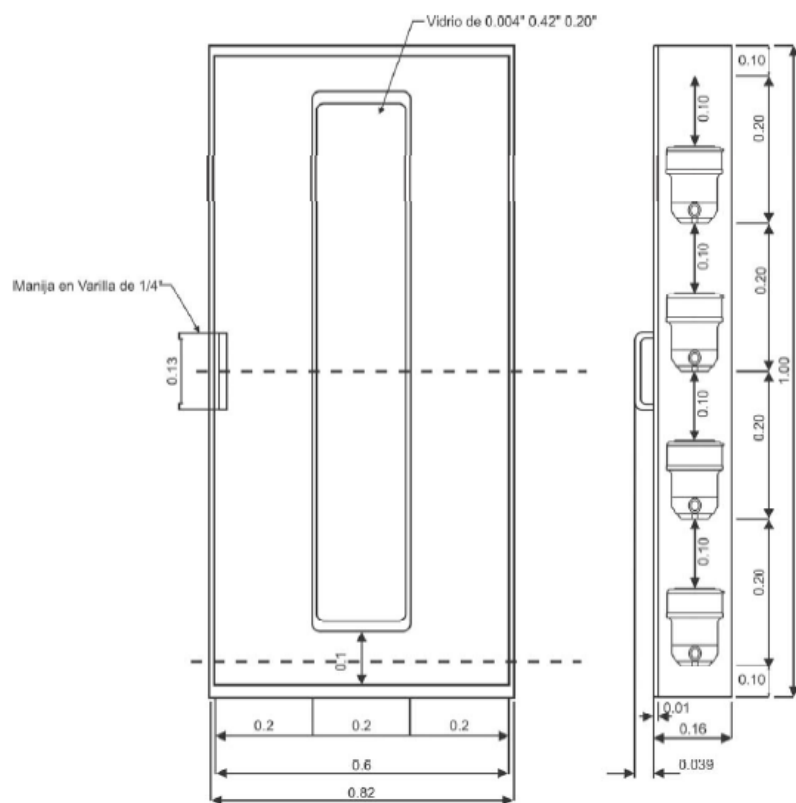
*Ilustración 21.* Esquema típico de acometida en muro de edificios.

*Fuente:* EAAV ESP.

De igual forma, en las ilustraciones 22 y 23 se presenta el esquema típico de instalación de medidores para nichos de dos y cuatro medidores.



*Ilustración 22.* Esquema típico de instalación para nichos de dos medidores.  
*Fuente: EAAV ESP.*



*Ilustración 23.* Esquema típico de instalación para nichos de cuatro medidores.  
*Fuente: EAAV ESP.*



## **Tanque de almacenamiento**

Estos tanques generalmente se ubican en la parte inferior de las edificaciones y pueden ser superficiales, semienterrados o enterrados. Su función principal es almacenar el agua que proviene de la red principal y que posteriormente se impulsa mediante bombas para el suministro de cada unidad.

Las partes de un tanque de almacenamiento son las siguientes:

- Compuerta de acceso. Permite el ingreso al interior del tanque, debe ser de material impermeable y hermético.
- Tubería de aducción. Es la que suministra el agua proveniente de la acometida.
- Flotador. Dispositivo que controla el nivel del tanque, permitiendo el acceso del agua cuando el nivel disminuye e impidiéndolo cuando el agua está en el nivel más alto de llenado.
- Tubería de rebose. Sirve para evacuar el exceso de agua cuando el flotador falla. Debe estar protegida con una malla para evitar la entrada de animales.
- Tubería de limpieza. Se utiliza para desocupar el tanque cuando se requiere hacer limpieza o mantenimiento.
- Tubería de servicio. Es el tramo de tubería que conecta el tanque con la red de distribución interna (UNESCO-SANTIAGO, julio 1999).

La Norma NTC-1500 determina los siguientes parámetros para el diseño y construcción de dichas estructuras:

- Toda edificación debe disponer de tanques de reserva de agua potable.
- El volumen útil del tanque de reserva debe garantizar por lo menos el abastecimiento de agua para un día de servicio.

- El volumen de reserva se establecerá con base a la población atendida y el consumo promedio diario estimado establecido en la Tabla 12.
- Los tanques de almacenamiento de agua potable deben estar debidamente protegidos, ser herméticos e impermeables y estar provistos de ventilación. El área mínima de la conexión de ventilación debe ser mayor o igual a cuatro veces el área de la conexión de la acometida.
- Todos los tanques de almacenamiento deben tener un borde libre mínimo de 0,20 m y deben estar provistos de tubos de rebose debidamente protegidos y colocados a una distancia no menor de 150 mm sobre el nivel máximo de la lámina de agua. El área mínima de la conexión de rebose será mayor o igual a dos veces el área de la conexión de la acometida.
- Todos los tanques de almacenamiento deben disponer de un sistema de limpieza.
- Todos los tanques fabricados in situ deben construirse con una ventana para su fácil inspección, que permita el acceso del personal de mantenimiento. Si está dotado de un equipo de bomba debe construirse un cárcamo que permita la instalación adecuada de las conexiones de succión del equipo.
- Los tanques deben estar provistos de superficies esmaltadas y sus aristas deben ser remachadas en chaflán o media caña, no se deben utilizar los revestimientos enchapados en baldosín cerámico.

Tabla 12 Evaluación de consumo según el uso

<b>Evaluación de consumo según el uso</b>	
Industrias	80 litros /trabajador
Comercio, mercancías secas, casas de abastos, peluquerías y pescaderías	20 litros/ m2 mínimo 400 litros/ día
Mercados	15 litros /m2
Viviendas	200 litros/ habitante/ día a 250 litros/ habitante/ día
Universidades	50 litros/ persona/ día
Internados	250 litros/ persona/ día
Hoteles (a)	500 litros/ habitación/ día
Hoteles (b)	250 litros/ cama/ día
Oficinas	90 litros/ persona/ día
Cuarteles	350 litros/ persona/ día
Restaurantes	4 litros/ día/ comida
Hospitales	600 litros/ persona/ día
Prisiones	600 litros/ persona/ día
Lavanderías	48 litros /kg de ropa
Lavado de carros	400 litros /carro/ día
W.C públicos	50 litros/ hora
W.C. intermitentes	150 litros/ hora
Circos, hipódromos, parques de atracciones, estudios, velódromos, autódromos, plazas de toros y similares	1 litro/ espectador
Cabarets, casinos y salas de baile	30 litros/ m2
Cines, teatros y auditorios	3 litros / silla
Estaciones de servicio, bombas de gasolina, garajes y estacionamientos se colocará de acuerdo con los siguientes consumos:	
Para lavado automático	12 000 litros/ día/ unidad
Para lavado no automático	7 500 litros/ día/ unidad
Para bombas de gasolina	300 litros/ día/ surtidor
Para garajes y estacionamientos cubiertos	2 litros/ día/ m2 de área
Para oficinas y ventas de repuestos	6 litros/ día/ m2 de área útil
El suministro de agua para bares, fuentes de soda, refresquerías, cafeterías y similares se calculará con base en los siguientes consumos:	
Área en m2 Consumo diario	
Hasta 30	1,500 litros/ m2
De 31 a 60	60 litros/ m2
De 61 a 100	50 litros/ m2
Mayor de 100	40 litros/ m2

Riegos	
Piso asfaltado	1 litro/ m <sup>2</sup>
Empedrados	1,5 litros/ m <sup>2</sup>
Jardines	2 litros/ m <sup>2</sup>
Piscinas	300 litros/ persona
Duchas piscina	60 litros/ persona

Fuente: NTC-1500.

### ***Norma NS-062 de la EAAB “recomendaciones especiales para el diseño de tanques”***

La Norma NS-062 establece las recomendaciones generales para cualquier tanque de almacenamiento de agua potable. A continuación se describen las recomendaciones específicas aplicables a un tanque de almacenamiento para una edificación.

#### Generalidades

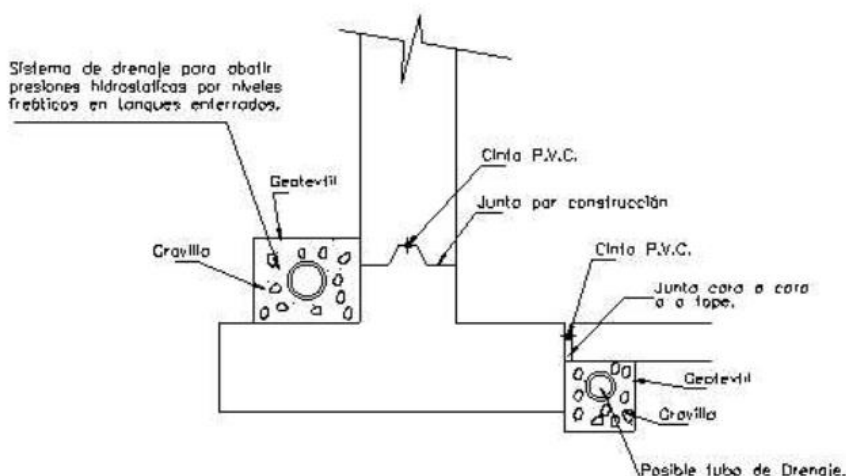
La realización del diseño estructural de los tanques referidos en la presente norma debe cumplir con los requisitos consignados en la Norma Técnica de la Empresa "NS-002 Criterios de diseño estructural".

#### Recomendaciones especiales para diseño de tanques

##### a) Drenaje

Se debe diseñar un sistema de drenaje que cubra el área total de la placa de fondo, con sus correspondientes pendientes, diámetros y longitudes.

Nota: Se recomienda realizar el sistema de drenaje con tubería perforada a junta perdida, colocado dentro de una grava fina con tamaño máximo de 1” (2,5 cm) y aislado con geotextil; debe conducirse a una caja de medición de caudal, debidamente calibrada, la cual se conecta al sistema de drenaje Ilustración 24.

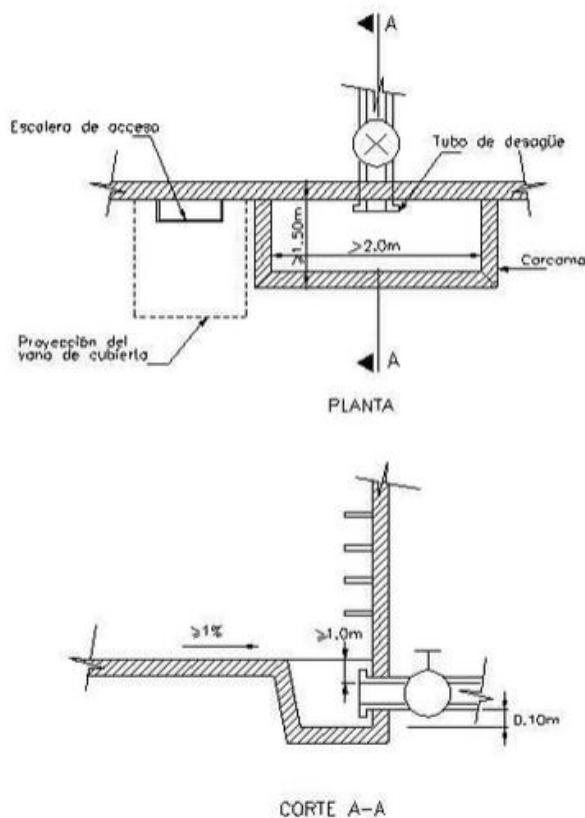


*Ilustración 24.* Sistema de drenaje en tanques de almacenamiento, sugerido por la EAAB.  
*Fuente:* NS-062 EAAB.

#### b) Desagües

Se recomienda diseñar la estructura de desagüe con los siguientes criterios:

- El tubo de desagüe, de diámetro según el diseño hidráulico, se recomienda sea instalado en un cárcamo. El cárcamo debe tener capacidad suficiente para remover los sedimentos pesados que quedan durante el lavado periódico del tanque. Debe tenerse en cuenta que la labor de retirar los sedimentos es realizada por una persona con pala y balde.
- La cota batea del tubo de desagüe sobre el fondo del cárcamo debe ser tal que los depósitos de sedimentos no obstaculicen el libre drenaje.
- Se recomienda ubicar el cárcamo debajo de una abertura en la cubierta, con el fin de extraer fácilmente los sedimentos.
- La losa de fondo debe tener una pendiente mayor al 1% hacia el cárcamo, con el fin de facilitar la labor de lavado (ilustración 25).



*Ilustración 25.*Esquema de un desagüe.

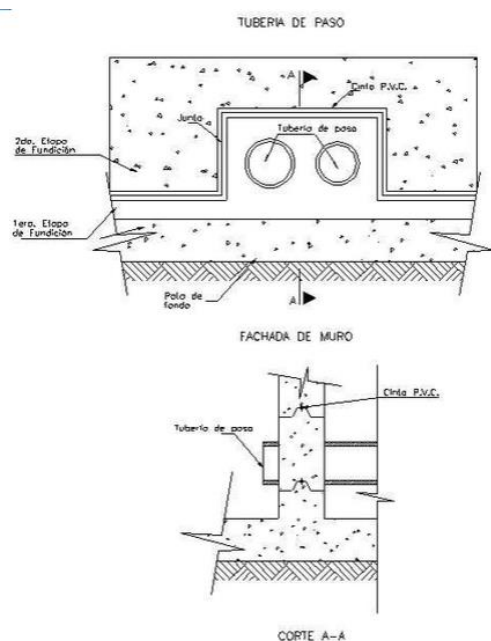
*Fuente:* NS-062 EAAB.

### c) Tuberías de Paso

El difícil vibrado del concreto alrededor de las tuberías cercanas al fondo del tanque conlleva a que se presenten fugas de líquido entre las uniones tubo - estructura. Para una correcta colocación de las tuberías de salida, se recomienda que éstas queden embebidas durante la etapa de fundición del pedestal de la pata de la pared del tanque o de las de fondo, en un pequeño muro cuyo contorno debe dotarse del mismo tipo de junta que el resto de la unión Ver Ilustración 26.

Las tuberías de entrada de agua deben ser instaladas de tal forma que se evite la descarga del agua directamente sobre el concreto. Éstas, preferiblemente, deben descargar sobre

una lámina de agua, ya sea en forma ahogada o libre, y su disposición debe garantizar, junto con la tubería de salida, una buena renovación del agua contenida.

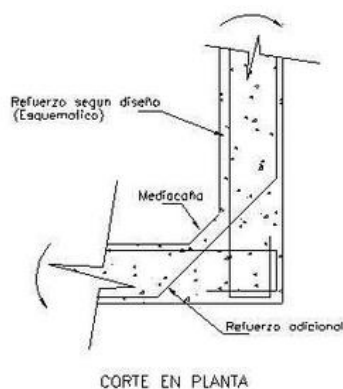


*Ilustración 26.* Esquema de construcción para tuberías de paso.

*Fuente:* NS-062 EAAB.

#### d) Refuerzo Adicional en las Esquinas

Para incrementar la eficiencia en cuanto al comportamiento estructural de las esquinas o uniones entre muros, se sugiere colocar un refuerzo como el mostrado en la Ilustración 27.



*Ilustración 27.* Detalle de un refuerzo.

*Fuente:* NS-062 EAAB.

e) Ventilación

Deben instalarse ductos de ventilación en acero Sch 40, que permiten entrada y salida de aire, provistos con una malla de protección.

Nota: Para tanques de volumen menor o igual de 50 m<sup>3</sup>, se recomienda que los ductos sean tubos verticales con dos codos de 90°, conectados con un nipple, de tal manera que formen una curva de 180°. Para tanque de capacidades mayores de 50 m<sup>3</sup> se recomienda utilizar cámaras de ventilación.

f) Acceso al Interior

Cada tanque debe contar, por lo menos, con un acceso de una dimensión mínima de 1 m x 2 m, para su inspección interior, con tapa de cierre hermético, ubicada sobre la cubierta.

El acceso debe sobresalir un mínimo de 0,10 m por encima de la cubierta. Debe contarse, mínimo, con una escalera interna con baranda y una externa en concreto reforzado, además de entradas de inspección de un diámetro mínimo de 0,60m, según se requiera.

g) Iluminación

No se permite la entrada de luz natural hacia el interior del tanque, salvo en las labores de observación, limpieza y mantenimiento.

h) Señalización

Todo tanque elevado debe contar con luces de señalización de obs áculo elevado, para advertir su presencia a las aeronaves, y pintura acorde con las normas de la Aeronáutica Civil.

i) Cubierta

Todos los tanques deben tener una cubierta, la cual debe ser en fibra de nylon con una densidad de 600g/m<sup>3</sup>, del tipo caprolan hidrofílico; y, además, deben cumplir con lo siguiente:



- Se recomienda que la cubierta se construya con una pendiente mayor o igual al 1%, para evitar la infiltración de aguas provenientes del exterior del tanque. A su vez, ésta debe conducir dichos fluidos a unas vigas canal de drenaje perimetral, las cuales tendrán unas bajantes conectadas a la red de drenaje.
- Si sobre la cubierta están previstos jardines, canchas deportivas o zonas de tránsito de peatones, la cubierta debe tener un sistema de drenaje de escurrimiento natural.
- En caso de ser necesario, se deben instalar barandas metálicas perimetrales sobre la cubierta, con un bordillo mínimo de 15cm.
- Cuando la estructura tiene alojado un dispositivo especial, como lo es una válvula bayoneta que realiza la toma de muestras de agua para analizar su calidad, es necesario que la cubierta tenga la construcción adecuada para la instalación correcta de los accesorios que se manipulen desde el exterior del tanque.

## **Trazado de la red**

Para realizar un buen diseño es indispensable hacer el trazado de la red con base en la disposición de los diferentes aparatos sanitarios, identificando los elementos y características que van a componer la red, el número de aparatos, el tipo de accesorios, la longitud de la tubería y la distribución general de las instalaciones. Normalmente se definen dos condiciones específicas: el trazado en planta y el trazado en perfil, para lo cual se requiere tener en cuenta lo siguiente:

### **Información del proyecto**

#### **Descripción**

Teniendo en cuenta que existen diferentes tipos de edificaciones es importante conocer las características específicas del proyecto, como importancia, ubicación, uso, elementos constructivos, tipo de aparatos, tiempos de consumo, requerimientos especiales y todo aquello que especifique la clase de edificación que se va a construir. Los cuales son parámetros necesarios para definir el tipo de proyecto y caracterizar la red que se va a proyectar, de esta forma es posible establecer las consideraciones del trazado en planta y en perfil.

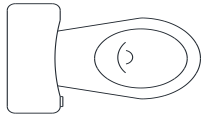
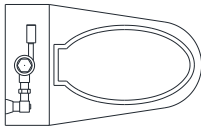
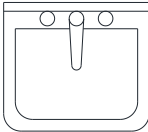
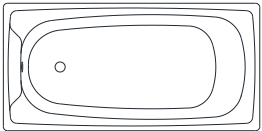
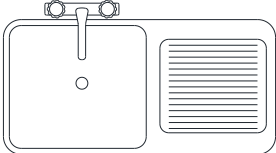
#### **Planos**

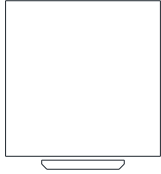
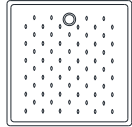

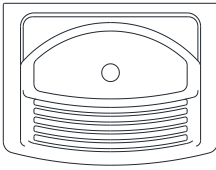
Es indispensable la adquisición de los planos del proyecto, ya que estos proporcionan la información necesaria para el planteamiento del diseño. Generalmente son el resultado de diseños específicos realizados por arquitectos e ingenieros y contienen lo necesario para establecer el tipo de edificación y caracterizar la red que se va a proyectar, y de esta forma establecer las consideraciones del trazado en planta y en perfil. Entre los planos que se requieren para el trazado de la red están los siguientes:

### 1.1.1.1. *Plano arquitectónico en planta*

Es el plano base para cualquier diseño, debe mostrar claramente la distribución de cada una de las áreas que componen el diseño arquitectónico, discriminando las zonas sociales y las privadas; la ubicación de los aparatos sanitarios, (cocina, baños, lavadero); estableciendo las áreas para alcobas, oficinas, zonas de estar, depósitos, parqueaderos; e identificando elementos como puertas, ventanas, mesones, vacíos, etc. Para su mejor interpretación, el arquitecto diseñador debe emplear símbolos usuales que permitan identificar cada componente. En la tabla 13 se muestran ejemplos de los símbolos más comunes que se utilizan para aparatos sanitarios

*Tabla 13* Símbolos característicos de piezas sanitarias

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
	Inodoro de tanque
	Inodoro de fluxómetro
	Lavamanos
	Bañera
	Fregadero de cocina, un tanque y un escurridor

	Lavadora
	Plato de ducha
	Orinales
	Lavadero

Fuente: Adaptación WWW.bloquesautocad.com.

### **1.1.1.2. Plano arquitectónico cortes y fachadas**

Al igual que el plano en planta, los planos de cortes y fachadas también permiten identificar condiciones muy específicas necesarias para el trazado, tales como las alturas y los cambios de nivel en los pisos, la ubicación de sótanos o semisótanos y los posibles obstáculos que se puedan tener en el trazado de la red.

### **1.1.1.3. Planos estructurales**

Estos planos son fundamentales cuando se está trazando la red, básicamente sirven para conocer el tipo de estructura que se plantea e identificar los elementos estructurales, con el fin de evitar en lo posible que la red los atraviese. Además, proporcionan información para definir si la instalación de la red se hace por piso, por entretecho o mixto.

Así mismo, deben incluir claramente la ubicación de los ductos por donde se debe conducir la tubería de distribución.

## **Tipo de redes**

Una red de distribución de agua potable en una edificación es un conjunto de tuberías trabajando a presión, que se instalan para abastecer cada punto según su necesidad. Normalmente, en edificaciones convencionales predomina el uso de redes abiertas; sin embargo, en casos específicos se requiere el diseño de redes cerradas. A continuación se explica cada una de las redes que se debe emplear.

### **Redes abiertas**

“Son aquellas constituidas por una tubería principal de distribución, generalmente de mayor diámetro, desde la cual parten ramales que terminan en puntos ciegos, es decir, sin interconexiones con otras tuberías en la misma red de distribución de agua potable. Cada punto de alimentación o bifurcación se conoce como nodo. Por lo regular, el problema consiste en determinar los diámetros y los caudales en cada una de las tuberías de la red para condiciones permanentes de flujo y, a la vez, verificar que en cada uno de los puntos que se va a alimentar se cumplan las condiciones de demanda de caudal” (Saldarriaga V, 1998).

A diferencia de las redes abiertas que se emplean en otros usos, las diseñadas para abastecer edificaciones tienen la particularidad de que el suministro a los aparatos no funciona simultáneamente, por lo que su cálculo es diferente.

Entre las ventajas que presentan las redes abiertas se encuentra su fácil instalación y el empleo de longitudes menores de tubería.

### **Redes cerradas**

Las redes cerradas se caracterizan por estar conformadas mediante mallas o circuitos, a través de la interconexión entre los ramales de la red de distribución de agua potable.

Aunque las redes de distribución de agua potable para edificios son de tipo abierto, cuando las necesidades particulares del uso de la edificación requieren que la presión en todos los puntos sea igual, los aparatos tienen un funcionamiento simultáneo o se requiere un suministro permanente e ininterrumpido se debe plantear el diseño como una red cerrada.

En ambos casos se debe disponer de llaves de corte en todas las derivaciones, de tal forma que un daño en cualquier punto no suponga el corte total del suministro.

### **Trazado en planta**

El trazado en planta representa toda la tubería y sus accesorios, que va paralela al eje X del plano cartesiano, sin importar el nivel al que se encuentren. Su recorrido debe ser lo más corto posible, sin cubrir tramos exagerados o innecesarios, que repercuten en el costo final de la red.

Se recomienda hacer el trazado de la red desde los aparatos más alejados hacia el punto de alimentación. Lo ideal es que a las zonas donde existen aparatos (baños, cocinas, zonas de lavado, etc.) las alimente un ramal de distribución independiente, dejando una llave de paso cerca al punto de unión del ramal con la tubería general de distribución para futuras reparaciones, es decir, no se debe cortar el agua desde el medidor, sólo en el sector que se encuentre afectado, aunque por economía esta distribución no siempre es posible.

También es importante tener en cuenta que los cambios de dirección horizontales y verticales deben ser a  $90^\circ$  y sólo puede existir dos tubos,

El trazado en planta se puede hacer de tres formas:

a) Trazado en planta por piso. En este caso la tubería queda embebida en el concreto de

las placas, Las ventajas de este sistema son:

- Se recomienda cuando las zonas que se van a suministrar se encuentran concentradas en un solo sector.

- No hay vibraciones en la tubería.
- Menor recorrido en la tubería.
- Es poco factible que atraviese elementos estructurales.

Las desventajas de este sistema son:

- Si ocurre un daño se debe romper la losa de concreto y es muy difícil identificar el punto de la avería.

b) Trazado en planta por entretecho:

Las Ventajas de este sistema son:

- Esta es la solución más recomendable para residencias grandes, donde las zonas de aparatos están muy separados entre sí.
- Es de fácil acceso y rápida instalación.

Las desventajas de este sistema son:

- Puede causar ruidos molestos por efecto de vibraciones.
- Aumenta el costo de los materiales, ya que se consume mayor cantidad de tubería.
- Se requiere hacer cruces por elementos estructurales, dejando pases en vigas y viguetas.

c) Trazados en planta combinado:

Es el trazado en el cual la tubería en algunos sectores va por el piso y en otros por el entretecho. Es el más común y queda a criterio del diseñador, de acuerdo con su experiencia, las condiciones específicas del proyecto y sus ventajas y desventajas (Carrera, 21/04/2009).

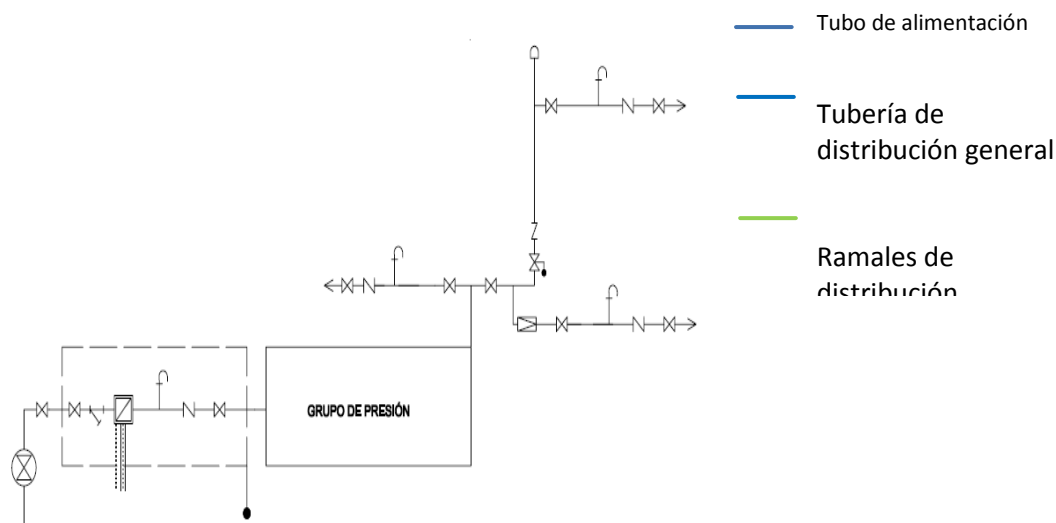
Para realizar el trazado en planta de la red de suministro es importante considerar la forma como se distribuye el abastecimiento en la edificación, que puede ser con un solo régimen funcional o con más de un régimen funcional, como se explica a continuación.

### Edificios con un solo régimen funcional o titular

Son edificios donde el suministro se hace para una sola unidad habitacional, su distribución es muy sencilla y el abastecimiento se hace por cualquiera de los tipos que se presentaron en el Capítulo 2, Abastecimiento directo o indirecto.

Entre las tuberías del trazado en planta están:

- Tubo de alimentación. Es la tubería que va desde la conexión de la red matriz hasta el medidor o los equipos de sobreelevación (grupo de presión).
- Tubería de distribución general. Es el conducto principal que parte desde el medidor o grupo de presión, y desde el cual se desprenden las tuberías horizontales que van para cada zona.



*Ilustración 28.* Esquema de distribución con un solo régimen funcional o titular.

*Fuente:* Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HS-4



- Ramales de distribución. Son los que parten de la tubería de distribución general y llegan a cada uno de los aparatos sanitarios, generalmente se proyecta un ramal de distribución para cada zona (cocina, baño, zona de lavado)(Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HS-4 Salubridad, n.d.).

En la ilustración 28 se muestra un ejemplo de esta distribución.

### **Edificios con más de un régimen funcional o titular**

Son edificaciones con diferentes propietarios, en las cuales es conveniente que el suministro a cada unidad sea independiente. Por lo general, el suministro se puede hacer de forma directa o indirecta, dependiendo de los requerimientos de consumo y las condiciones normativas.

Entre las tuberías del trazado en planta están las siguientes:

- Tubo de acometida. Es la tubería que va desde la conexión en la red matriz hasta la llave de corte general de la edificación.
- Tubo de alimentación. Es la tubería que enlaza la llave de corte general del edificio con el distribuidor principal o la batería de contadores divisionarios, según el tipo de distribución que se realice.

Cuando existan elementos de control y regulación de la presión (válvulas reductoras de presión, equipos de sobreelevación, etc.) el tubo de alimentación debe terminar en ellos.

Este tubo puede estar distribuido por las zonas comunes del edificio. Tomado del (Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HS-4 Salubridad, n.d.).

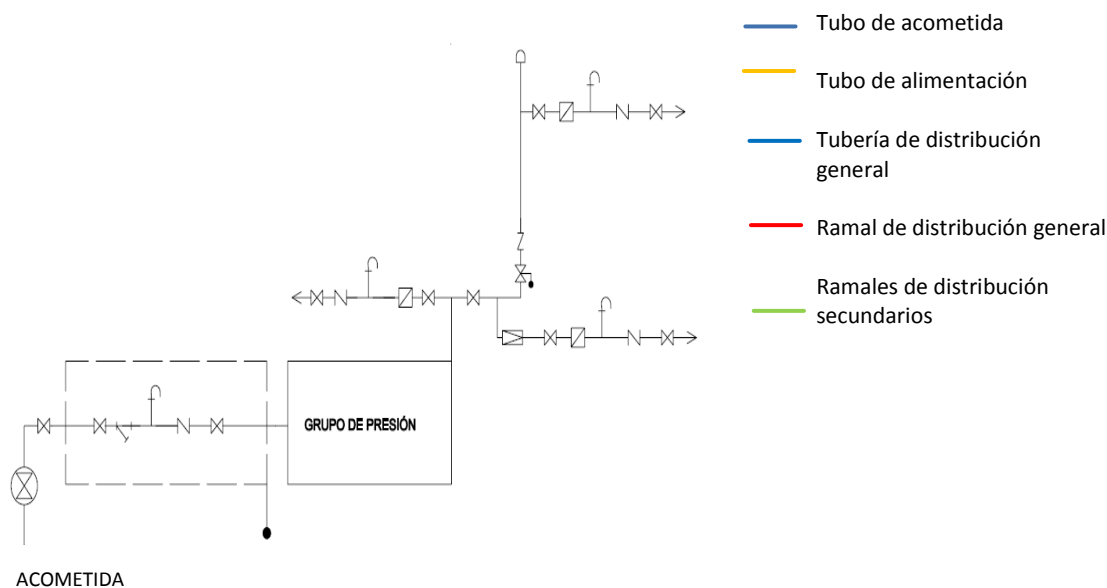
- Tubería de distribución general. Es la tubería principal de distribución, va desde el medidor o equipos de sobreelevación (grupo de presión) hasta los montantes.

El trazado de esta tubería se debe realizar siempre por zonas de uso común. En caso de ir empotrada se deben instalar registros para la inspección y control de fugas, al menos en sus extremos y en todos los cambios de dirección.

En los edificios de uso sanitario debe adoptarse la solución de distribuidor en anillo, para que en caso de avería o reforma se garantice el suministro interior.

Deben disponerse llaves de corte en todas las derivaciones, de tal forma que en caso de avería en cualquier punto no se interrumpa todo el suministro (Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HS-4 Salubridad, n.d.).

En el diseño en general se utilizan diámetros hasta de 4". Se recomienda fraccionar la red cuando por los valores de caudales calculados se supere este diámetro.



*Ilustración 29.* Esquema de distribución con más de un régimen funcional o titular.

*Fuente:* Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HS-4

- Ramales de distribución. Los ramales de distribución en edificios de más de un régimen funcional o titular se dividen en dos:

- Ramal de distribución principal. Es la tubería que va desde la descarga de los montantes hasta cada una de las unidades habitacionales directamente o al medidor, dependiendo de su ubicación.
- Ramales de distribución secundarios. Es la tubería que ramifica desde el ramal de distribución principal hasta cada uno de los aparatos sanitarios(Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HS-4 Salubridad, n.d.).

En la ilustración 29 se muestra un ejemplo de esta distribución.

### **Trazado en perfil**

El trazo en perfil está definido por los ascendentes o montantes, que es la tubería que une verticalmente la tubería de distribución con las instalaciones horizontales en cada piso, derivando en cada uno de éstos el suministro requerido. Siempre se deben trazar por zonas de uso común.

Estos trazos deben ir preferentemente por conductos destinados para este fin, deben ser registrables y pueden ser de uso compartido con otras instalaciones de agua del edificio, pero nunca con instalaciones eléctricas, de comunicaciones o de gas. Deben tener las dimensiones suficientes para permitir un correcto mantenimiento y alojar los dispositivos necesarios.

Todas las ascendentes deben disponer en su base de una válvula de retención y una llave de paso con grifo o tapón de vaciado, situada en zonas comunes con fácil acceso y perfectamente identificada. La válvula de retención siempre debe ir en primer lugar, según el sentido de circulación del agua. Así mismo, en la parte superior se deben instalar dispositivos de purga, automáticos o manuales, con un separador o cámara que reduzca la velocidad del agua, facilitando la salida del aire y disminuyendo los efectos de posibles golpes de ariete(Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HS-4 Salubridad, n.d.).

Al igual que en el trazado en planta se debe tener en cuenta el tipo de edificación.

### **Edificios con un solo régimen funcional o titular**

Para este tipo de edificaciones los accedentes o montantes son la tubería que transporta el agua de un piso inferior al siguiente, buscando para su conexión el punto mas cercano desde la tubería de distribución general hasta la zona que se desea alimentar en los pisos superiores.

### **Edificios con más de un régimen funcional o titular**

Para los edificios con más de un régimen funcional se pueden presentar dos casos en el trazado de los accedentes o montantes, lo cuallo definen las características propias de cada proyecto.

### **Montantes individuales por unidad**

Se da cuando la instalación de los medidores se hace en los pisos comunales inferiores (sótano, semisótano, zona común primer piso). En este caso se requiere que por el ducto se proyecte un tubo por unidad habitacional desde la caja de contadores hasta el ramal de distribución secundario. Debe ser de un diámetro reducido, teniendo en cuenta que el suministro requerido no es considerable. Estos montantes se recomiendan cuando se quiere garantizar mayor privacidad en las zonas comunes de las unidades, restringiendo el tránsito en estos puntos al personal de la empresa prestadora del servicio en el momento de hacer las lecturas periódicas en los medidores.

### ***Montante compartido por las unidades***

En este caso se tienen cajillas de contadores independientes por piso o por grupo de unidades habitacionales. El ascendente o montante es, generalmente, un tubo de diámetro mayor, ya que debe suministrar a varias unidades. Su trazado también se hace por ductos destinados para tal fin. Se debe hacer una derivación en la tubería en cada piso, la cual puede llegar directamente

a la cajilla de contadores o distribuida con el ramal de distribución general al punto donde se tengan dispuestos los contadores individuales o el grupo de contadores.

### **Pasos para el trazado de una red**

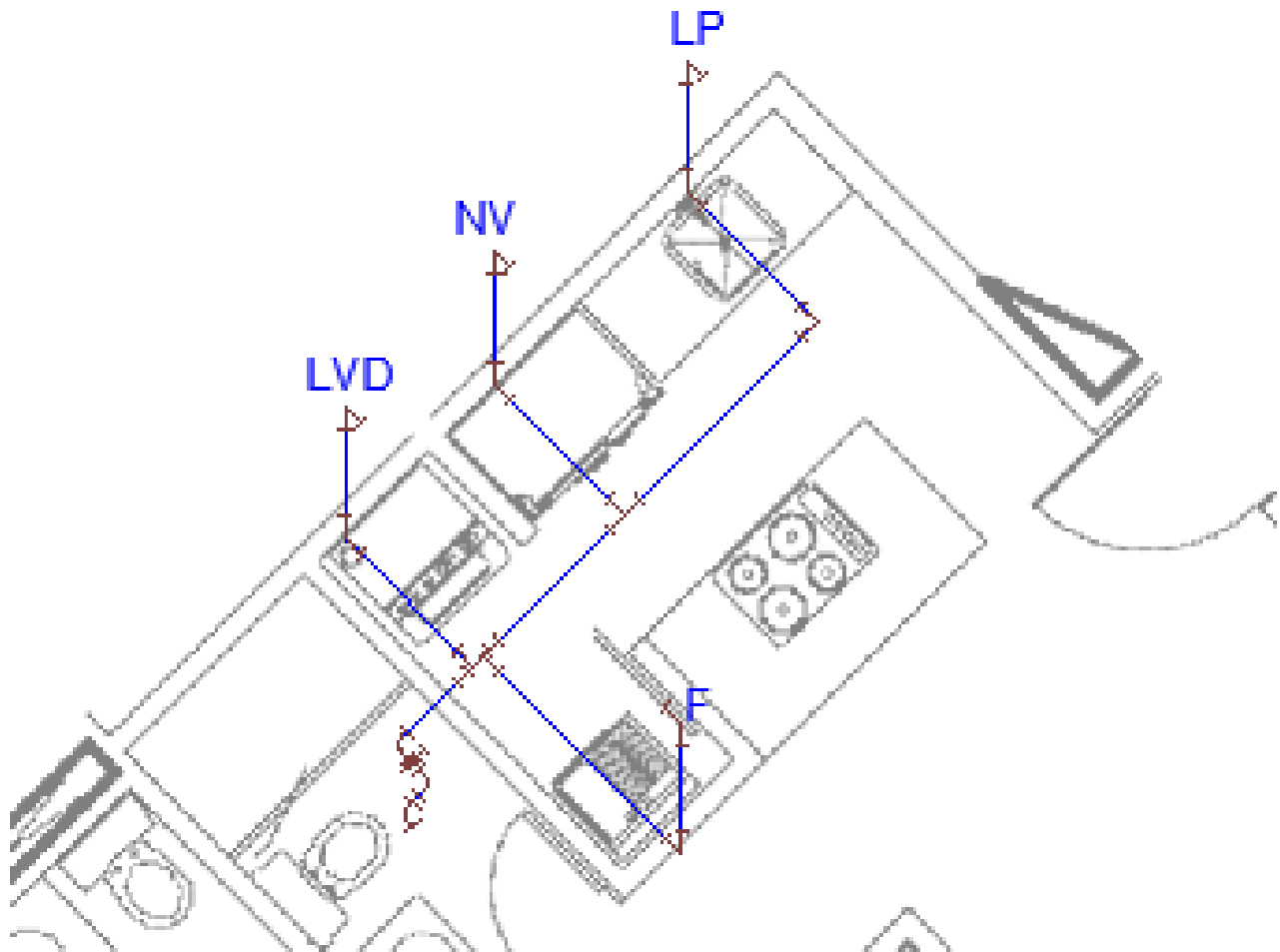
Para facilitar el trazado de una red de distribución de agua potable se pueden seguir los pasos que se presentan a continuación. Es importante que en su utilización se tengan en cuenta los conceptos y parámetros descritos en este capítulo y en el anterior, en cuanto a la utilización de válvulas, accesorios, aparatos sanitarios existentes, entre otros.

#### 1) Evaluar el proyecto

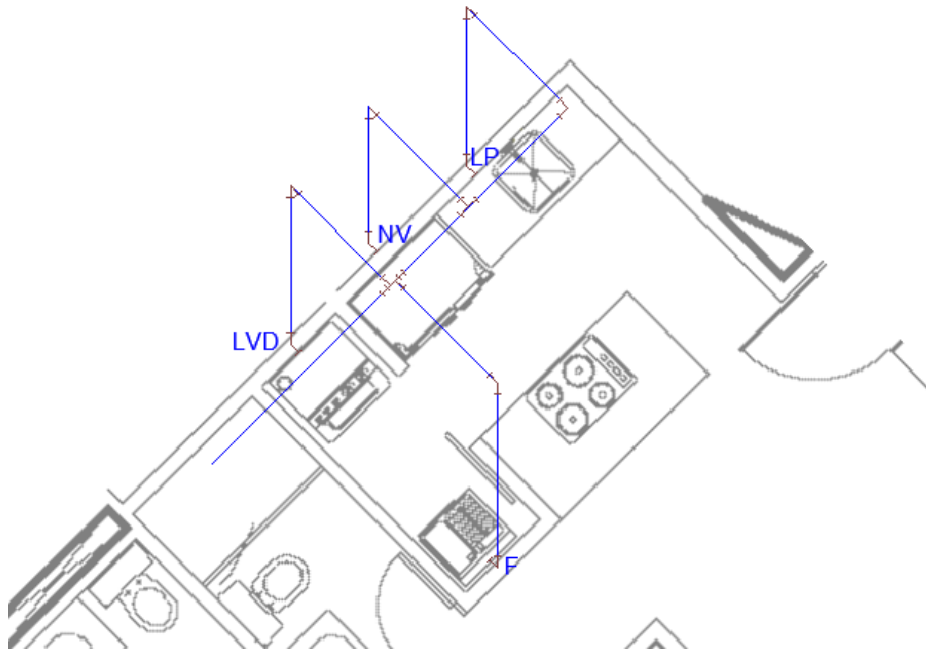
Es importante hacer un estudio previo del proyecto para identificar zonas comunes, áreas tipo, distribución de zonas, tipo de acabados, ductos de distribución propuestos, condiciones de accesibilidad a zonas comunes, ubicación de medidores, ubicación del tanque de almacenamiento, ubicación del cuarto de máquinas, identificación de elementos estructurales, entre otros.

#### 2) Definir el trazado de la red en planta

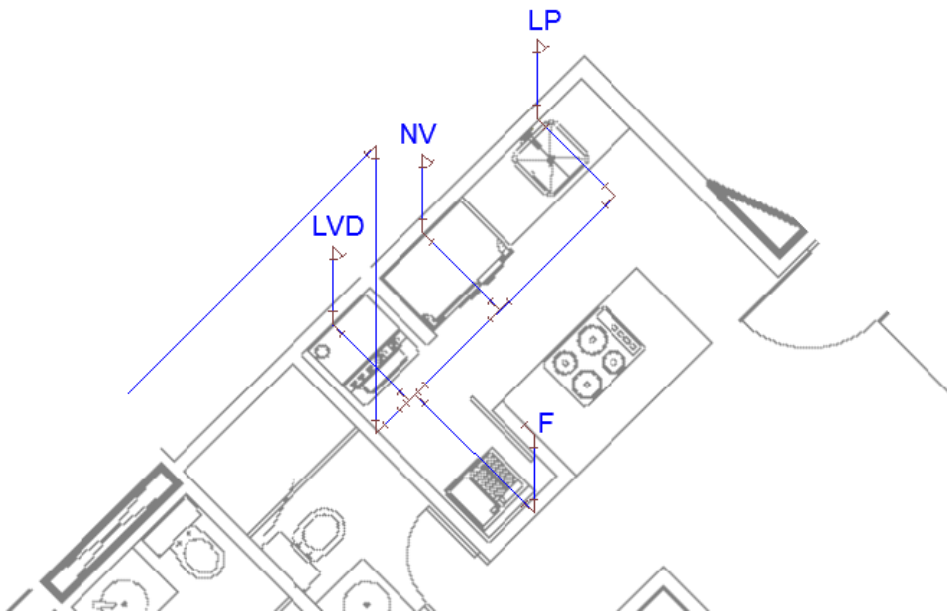
De acuerdo con la evaluación anterior es importante definir si el trazado se va a realizar por piso, por entretecho o combinado. En las ilustraciones 30, 31 y 32 se presenta un ejemplo de cada uno de estos trazados.



*Ilustración 30.* Trazado en planta por piso.  
*Fuente:* Esquema en AutoCAD realizado por el autor.



*Ilustración 31.* Trazado en planta por entretecho.  
*Fuente:* Esquema en AutoCAD realizado por el autor.



*Ilustración 32.* Trazado en planta combinado.  
*Fuente:* Esquema en AutoCAD realizado por el autor.

3) Identificar aparatos sanitarios

Se debe identificar muy bien cada aparato sanitario, su ubicación, la pared de alimentación y las condiciones de consumo.

4) Dibujar el trayecto de la red

Este paso es uno de los más importantes en el diseño porque es donde se deben aplicar gran parte de los conceptos vistos. A medida que se va trazando la red se debe tener presente la simbología para definir los accesorios propuestos en el diseño. En la tabla 14 se muestran la simbología más empleada.

5) Sectorización de la red mediante llaves de paso

Como se mencionó, el uso de llaves de paso es importante en el momento de un daño en la red. También en el trazado de la red es clave porque ayuda a sectorizarla y a definir los ramales secundarios.

6) Marcación de zonas

En el plano arquitectónico están claramente definidas las zonas y es apropiado distinguir cada una de ellas mediante nomenclatura y numeración según la cantidad, ejemplo: Cocina = CL (mayúscula) y subíndice indicando la cantidad, como se muestra en la ilustración 37.

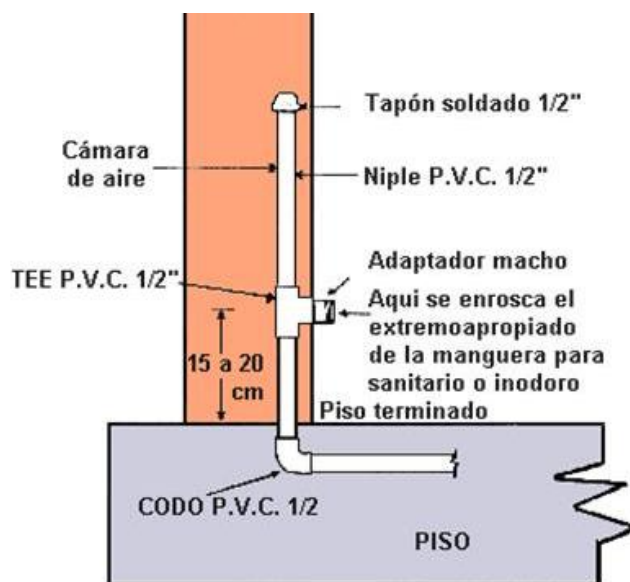
7) Definir los tramos

La definición de los tramos se hace mediante números o letras, teniendo en cuenta la tubería en planta y la tubería de los ascendentes o montantes. Se recomienda hacerlo de forma consecutiva por zonas. Los tramos se deben definir en los siguientes lugares ver ilustración 37:

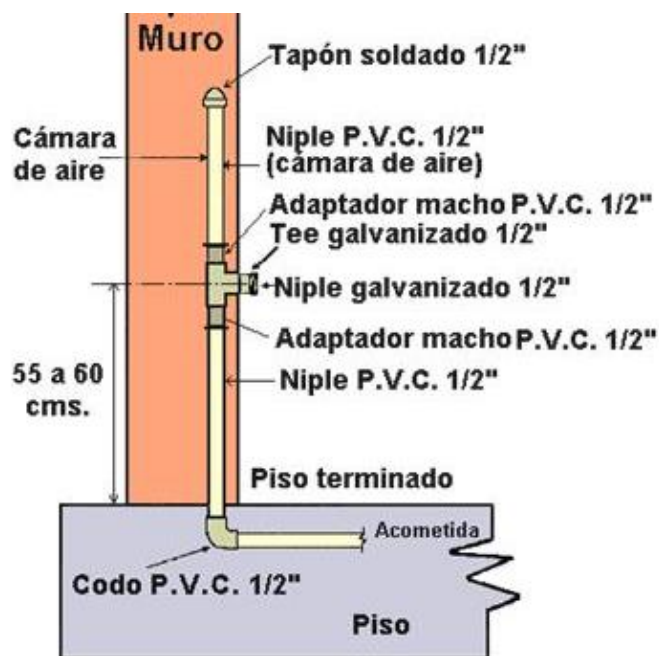
- Al comienzo del tramo
- Al final del tramo
- En sitios de derivación de flujo



- En sitios de cambio de dirección de flujo
- En los punto donde se considere conveniente



*Ilustración 33.* Distancia del punto de conexión sanitario.  
*Fuente:* Instalaciones domiciliarias UNAD, lección 10.

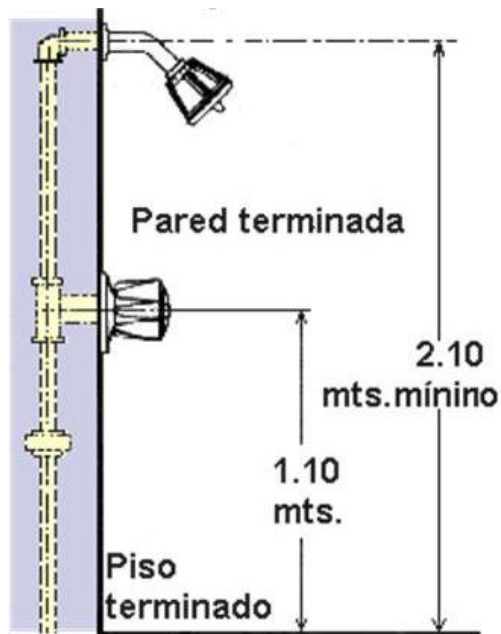


*Ilustración 34.* Distancia del punto de conexión del lavamanos y el lavaplatos.  
*Fuente:* Instalaciones domiciliarias UNAD, lección 10.

## 8) Determinar longitudes

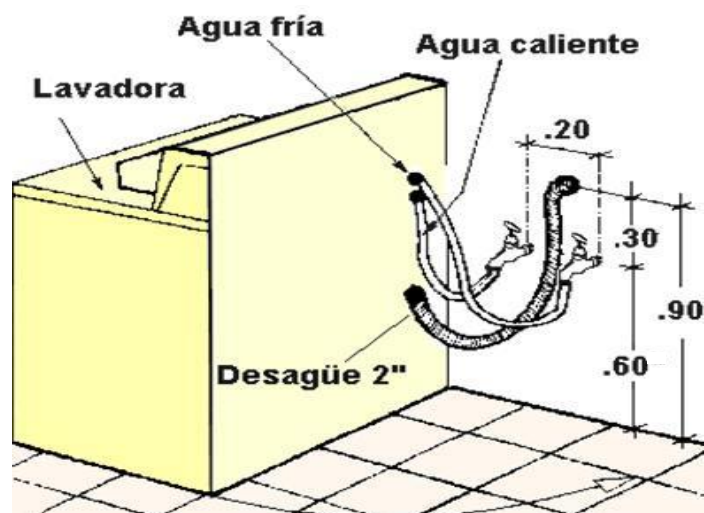
Para determinar las longitudes se requiere dimensionar las distancias entre tramos sobre el trayecto trazado y considerando los tramos definidos. Para las distancias verticales se debe tener en cuenta la altura de conexión de cada aparato, como se muestra en las ilustraciones 33,

34, 35 y 36



*Ilustración 35.* Distancia del punto de conexión de la ducha.































*Fuente:* Instalaciones domiciliarias UNAD, lección 10.



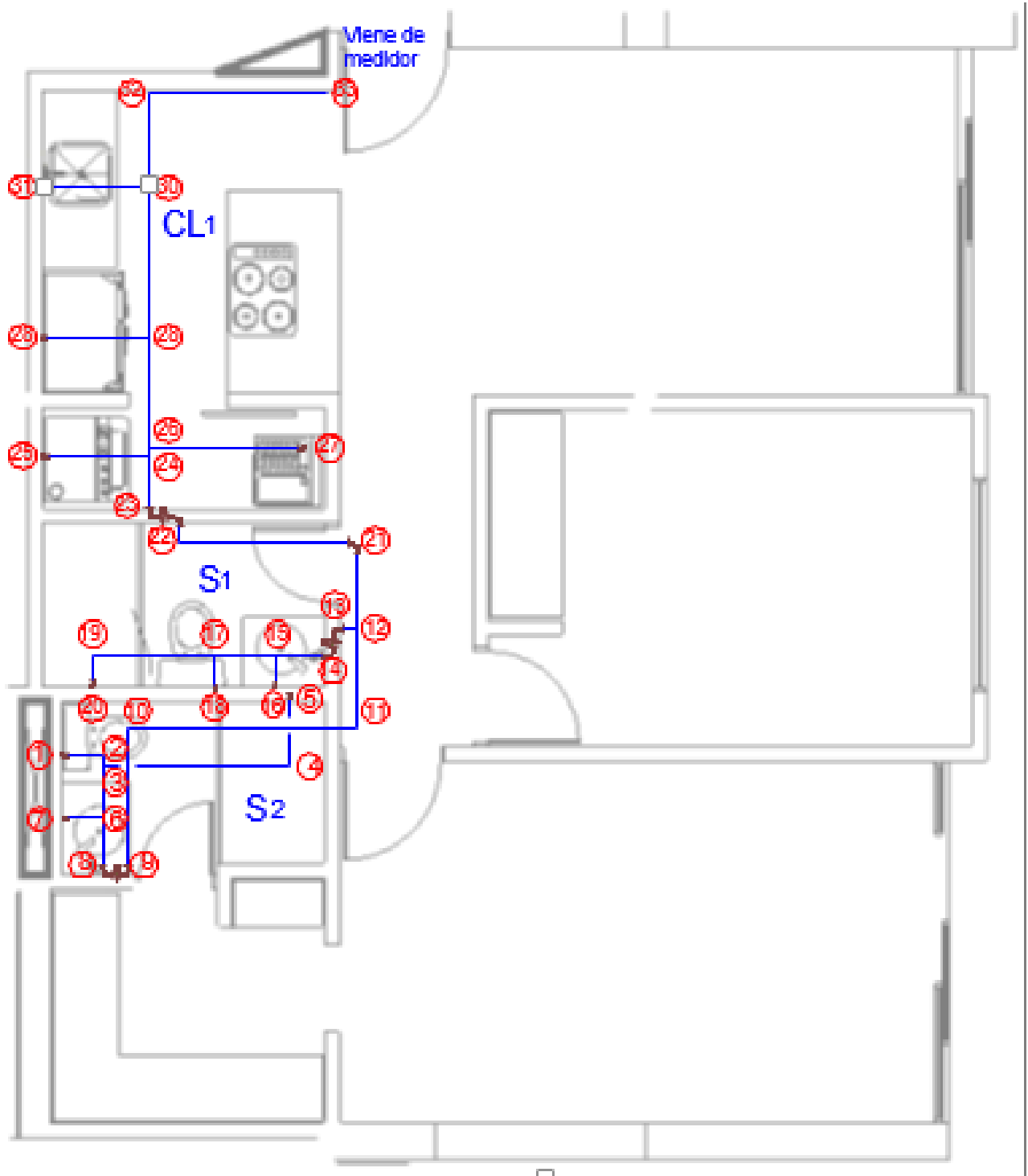
*Ilustración 36.* Distancia del punto de conexión de la lavadora.

*Fuente:* Instalaciones domiciliarias UNAD, lección 10.

Tabla 14 Simbología utilizada en el trazado

SIMBOLOGIA	
	Tubería de agua fría
	Acometida
	Contador general
	Válvula de paso de globo planta
	Válvula de paso de globo vertical
	Válvula de paso de compuerta planta
	Válvula de paso de compuerta vertical
	Válvula con flotante
	Válvula de retención planta
	Válvula de retención vertical
	Válvula de ángulo de compuerta planta
	Válvula de ángulo de compuerta vertical
	Válvula de vaciado
	Calentador
	Depósito
	Codo de 45°
	Codo de 90°
	Codo reducido
	Codo bajando
	Codo subiendo
	Te
	Te subiendo
	Te bajando
	Reductor con excentricidad
	Reductor sin excentricidad
	Tapón hembra
	Tapón macho
	Unión simple
	Unión universal
	Cruce de tubería
B.C.A.F.	Baja columna de agua fría
S.C.A.F.	Sube columna de agua fría
	Baja columna de agua fría
	Sube columna de agua fría

Fuente: Adaptación (Nieto Palomo, n.d.).



*Ilustración 37.* Marcación de zonas y definición de tramos.

*Fuente:* Esquema en AutoCAD realizado por el autor.

Para el trazado de toda la red se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- No se permite el uso de doble Yee o doble Tee, conectada a ramales horizontales.
- Todas las tuberías, accesorios y válvulas deben estar instalados correctamente en relación con la dirección del flujo.
- Se deben efectuar cambios de dirección en un ángulo de 90°.

### Vista isométrica de una red

Una vez hecho el trazado de la red en planta y horizontalmente es importante hacer una vista isométrica, de acuerdo con el trazado propuesto. La construcción isométrica de la red se debe efectuar teniendo en cuenta todos los detalles, accesorios, recorrido, cambios de dirección y de nivel del trazado.

*Tabla 15* Nomenclatura de aparatos sanitarios

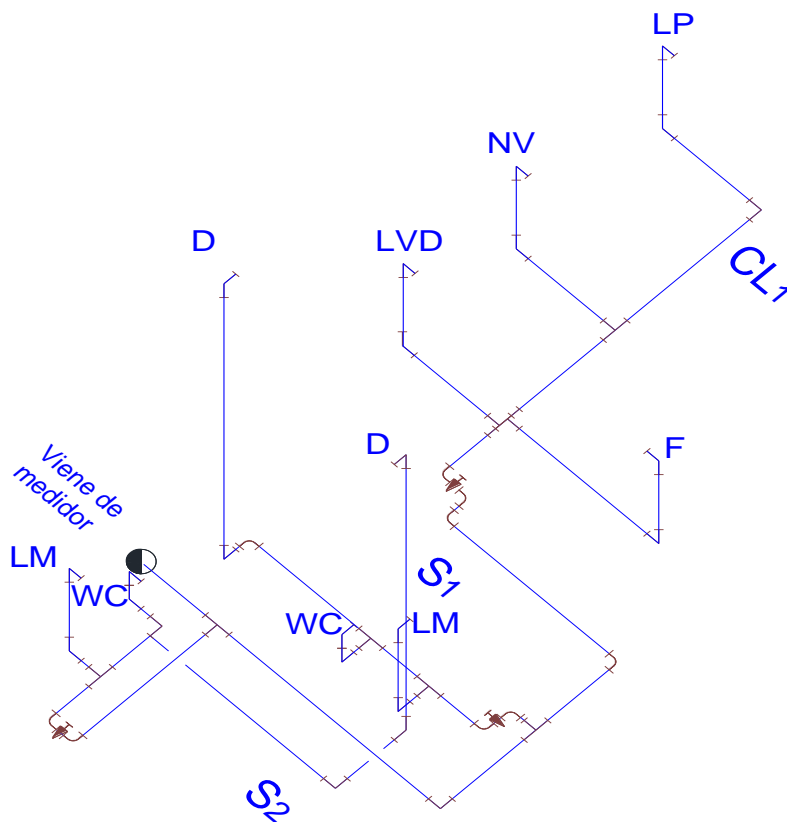
<b>Aparato</b>	<b>Nomenclatura</b>
Lavaplatos	LP
Lavamanos	LM
Lavadero o fregadero	F
Lavadora	LVD
Nevera	NV
Ducha	D
Inodoro	WC
Tina	TN
Bebedero	BB
Bidet	BD

*Fuente:* Adaptación de (Nieto Palomo, n.d.).

Se debe hacer una vista isométrica a 45°, de tal manera que se puedan ver en detalle la red, la altura a la que se debe colocar la tubería de alimentación de cada aparato y, en general, todas las variaciones que se presenten en el trazado. Así mismo, deben quedar registrados todos los accesorios utilizados en la red, como válvulas, codos, tees, etc.

Con la información del trazado de la red se realiza el isométrico, en el cual se deben identificar claramente los puntos de alimentación, los accesorios utilizados y el tipo de aparato que se va a alimentar. Para la identificación de los aparatos se recomienda utilizar la nomenclatura de la tabla 15.

En la ilustración 38 se muestra un isométrico típico.



*Ilustración 38.* Isométrico típico.

*Fuente:* Esquema en AutoCAD realizado por el autor.

### **Edificios con un solo régimen funcional o titular**

Para este tipo de edificaciones se debe construir el isométrico identificando todas las zonas que se van a suministrar, incluidos los diferentes niveles que se tengan. Se deben considerar los recorridos de la tubería de alimentación, la tubería de distribución general, los ramales de distribución y los ascendentes o montantes.

### **Edificios con más de un régimen funcional o titular**

En el caso de diferentes regímenes funcionales la construcción del isométrico es más dispendiosa, porque se deben incluir los recorridos de la tubería de acometida, el tubo de distribución y la tubería de distribución general. Se recomienda identificar los sectores o ramales de distribución tipo en el isométrico de un piso o apartamento, y en los otros sólo dejar identificada su existencia, con el fin de no saturar el plano de información y hacerlo más comprensible. Además, si no se cuenta con muchos sectores tipo, los isométricos se pueden separar por sectores o por montantes, lo importante es que se presente un isométrico de fácil comprensión, en el cual se identifique el recorrido del punto más crítico para el cálculo, que debe ser el más alejado y de mayor nivel desde el punto de alimentación.

## **Diseño y cálculo de la red de distribución de agua potable en una edificación. Conceptos teóricos**

Para el diseño y cálculo de una red de distribución de agua potable en una edificación es necesario tener en cuenta los aspectos mencionados y explicados en los capítulos anteriores, estos son la base normativa y el aporte de la experiencia de muchos autores. Además, para el cálculo de la red es fundamental utilizar conceptos básicos de hidráulica, los cuales se explican en este capítulo.

Para realizar el diseño se requiere hacer un predimensionamiento, que consiste en establecer los diámetros comerciales posibles de los diferentes tramos de la red, a partir de la siguiente información:

- Determinar el número de aparatos que alimenta cada tramo.
- Establecer los caudales de consumo de cada uno de los aparatos sanitarios.
- 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 número de unidades de consumo y el caudal requerido.
- Establecer para cada tramo el caudal circulante, de acuerdo con el método que se elija, que para el caso de Colombia debe ser el método de Hunter modificado, según la NTC 1500.
- Determinar el diámetro de cada tramo.
- Establecer recomendaciones sobre velocidad.
- Especificar la presión requerida para el correcto funcionamiento de los aparatos.
- Calcular la energía necesaria en el punto de alimentación.
- Calcular el sistema de bombeo.



Para lograr este predimensionamiento se deben hacer los siguientes cálculos:

### **Estimación de caudales**

Para tener una buena orientación en el predimensionamiento que se va a realizar es importante identificar los tipos de caudales que se pueden determinar, los cuales son:

#### **Caudal máximo posible**

Normalmente se expresa en litros por segundo y es el caudal que se espera en un tramo de la red de un edificio con el uso normal de los aparatos sanitarios instalados, teniendo en cuenta que todos se utilizan al mismo tiempo. Se basa en el concepto que todos los aparatos de un mismo ramal funcionen simultáneamente.

El caudal máximo posible es la suma de los caudales mínimos requeridos para el funcionamiento adecuado de los aparatos sanitarios de una edificación. El caudal mínimo requerido por aparato aparece en la tabla 3, la cual contiene el caudal mínimo en lt/sg de los aparatos sanitarios más comunes.

#### **Caudal máximo probable**

El caudal máximo probable,  $Q_c$ , expresado en litros por segundo, es el dato base para el cálculo de la red. Este concepto responde a la pregunta de cuántos grifos de los instalados pueden estar abiertos simultáneamente en un momento determinado. Para su obtención es preciso establecer el caudal de cada uno de los aparatos instalados, sumarlos y, posteriormente, afectar los resultados por un coeficientes de simultaneidad.

El consumo de agua de un inmueble destinado para vivienda, oficinas, comercio o industria, etc., varía con las actividades de sus ocupantes en los diferentes momentos del día. Para fijar los diámetros óptimos de la tubería se debe determinar a priori la punta máxima de consumo  $Q_c$ , cuyo valor raramente corresponde con la apertura simultánea de

todos los grifos de la instalación. El objetivo principal de todos los métodos es determinar este caudal máximo probable.

Resumiendo, el problema se puede afrontar partiendo del número de puntos de consumo de agua que va a tener el edificio, considerando los distintos gastos de agua o caudales  $Q_{mín}$  (caudal instantáneo mínimo) de los aparatos instalados en cada tramo y aplicando a la suma de todos ellos un coeficiente reductor o factor probabilístico (factor de simultaneidad), que se obtiene con arreglo a algún criterio. En ocasiones, en lugar de aplicar este coeficiente sobre el número de puntos de consumo se hace sobre unidades de equipamientos de aparatos sanitarios (viviendas, cuartos de baño, aseos, cocinas, etc.). Otro procedimiento consiste en obviar el número de puntos de consumo y considerar el caudal total instalado, obteniendo el caudal probable mediante alguna expresión probabilística o empírica, utilizando este valor en el dimensionado de la red para determinar el diámetro de cada uno de los tramos. En cualquier caso, el primer paso para el diseño de la red es fijar los caudales instantáneos que han de poder suministrar los distintos aparatos sanitarios para dar un servicio satisfactorio a los usuarios (Garzón Orduña, 2014).

En términos generales, se han desarrollado diversos métodos para determinar los caudales o gastos de diseño para las diferentes partes de un sistema de distribución de agua, unos basados en el número de grifos existentes en la instalación y otros en los caudales instalados. Estos métodos se pueden clasificar en:

### ***Casos de certeza total***

En ciertas edificaciones puede darse el caso de tener la plena certeza de que durante un periodo determinado de tiempo un grupo de aparatos sanitarios estarán funcionando simultáneamente. Esta circunstancia suele darse en instalaciones de tipo colectivo, como

sucede en internados, cuarteles militares o los servicios higiénicos de un estadio durante los intervalos de descanso, en los cuales es lógico suponer que, por ejemplo, en el primer caso el grupo de duchas y en el segundo los urinarios funcionarán a la vez, ya sea por el régimen horario de la institución o por el desarrollo del evento. Estos casos particulares se deben considerar de manera separada, es decir, los ramales del grupo de aparatos se deben diseñar teniendo en cuenta una simultaneidad del 100% (Granados, 2002).

### ***Métodos empíricos***

En estos métodos, para un número dado de aparatos sanitarios de un sistema, se toma una decisión subjetiva basada en la experiencia previa de los profesionales o de las instituciones, en relación con el número de aparatos que pueden funcionar simultáneamente. En teoría, los métodos empíricos se pueden considerar los más adecuados para el cálculo de pequeños sistemas hidráulicos. Los más conocidos son:

#### ***Método británico***

Este método, basado en el criterio de especialistas en el diseño de instalaciones hidráulicas, se fundamenta en tablas elaboradas de "probables demandas simultáneas", correspondientes a diversas situaciones posibles. En una tabla se indican los caudales de los distintos aparatos sanitarios, expresados en l/m y una vez sumados los servidos por el ramal que se estudia. Una segunda tabla correlaciona estos caudales calculados con la probable demanda simultánea, lo cual permite ajustar el diámetro de la tubería que conducirá este flujo.

#### ***Método de Dawson y Bowman***

Análogo al método anterior es el desarrollado por Dawson y Bowman de la Universidad de Wisconsin. Se trata de unas tablas con el número total de aparatos sanitarios existentes en varias tipologías de viviendas: unifamiliar pequeña, unifamiliar grande, casas de

apartamentos (desde dos hasta seis unidades de vivienda), etc., en las que se especifica el número y la clase de aparatos sanitarios de que pueden disponer, su gasto total y el número de los que podrían estar en uso simultáneo para así obtener los caudales de cálculo (Pancorbo, 2011).

### ***Métodos semiempíricos***

Estos métodos, aunque también se basan en la experiencia, tienen un cierto sustento teórico que les permite establecer fórmulas y expresiones matemáticas.

#### *Método de la raíz cuadrada (Kessler, 1940).*

Este procedimiento toma como unidad de gasto el caudal instantáneo mínimo; por ejemplo, del lavabo (0,10 l/s). A esta unidad de gasto la denominamos  $q_1$  y el factor de carga  $f_1$ , considerando el lavabo como unitario. Si tenemos  $n_1$  lavabos abastecidos por una conducción se considera que el caudal de cálculo será:

$$Q_c = q_1 * \sqrt{f_1 * n_1}$$

En cualquier otro aparato sanitario que tenga un gasto diferente el factor de carga se establece tomando la relación entre su gasto y el "gasto unitario" (lavabo), elevando al cuadrado el resultado. A manera de ilustración consideremos que tenemos también  $n_2$  bañeras grandes (0,30 l/s) abastecidas por la misma conducción; esto es, tiene un caudal instantáneo tres veces mayor que el lavabo. El factor de carga  $f_2$  para esta bañera será  $3^2 = 9$ .

Así, el caudal de diseño para los dos grupos de aparatos sanitarios será:

$$Q_c = q_1 * \sqrt{f_1 * n_1 + f_2 * n_2} \quad \text{O bien} \quad Q_c = 0.10 * \sqrt{n_1 + 9 * n_2}$$

Es decir, el factor de carga para cada tipo de aparato sanitario en el edificio se multiplica por el número de aparatos servidos por la tubería en cuestión, se suma el resultado y, finalmente, se obtiene la raíz cuadrada. El resultado se multiplica por el caudal instantáneo unitario para obtener el gasto de abastecimiento al edificio, cualquiera que éste sea. La obtención de la raíz cuadrada considera, de una manera subjetiva, el hecho de que los aparatos sanitarios no trabajan simultáneamente.

Generalizando, para cualquier clase de aparato sanitario que se utilice de forma intermitente en la instalación, para el caudal de diseño tenemos la siguiente expresión:

$$Q_c = q_1 * \sqrt{f_1 * n_1 + f_2 * n_2 + \dots + f_n * n_n}$$

#### *Método de la norma francesa*

En Francia el cálculo para las instalaciones de fontanería para todos los edificios están recogidas en los "Documents Techniques Unifiés sur les réseaux d'eaux immobilières. DTU 60.11", octubre de 1988 (Instalación individual, párrafo 2, artículos 2.12 y 2.2, instalación colectiva) y Norme Francaise NF P 40-202.

El procedimiento para evaluar el caudal de cálculo consiste en multiplicar la suma de los caudales instantáneos mínimos especificados en la propia norma  $SQ_{\min}$  por un coeficiente K inferior a la unidad, denominado coeficiente de simultaneidad:

$$Q_c = K * Q_{\min}$$

Inicialmente, la expresión para el cálculo de K era:  $K = \frac{1}{\sqrt{X-1}}$

Posteriormente se sustituyó por la fórmula:  $K = \frac{0.8}{\sqrt{X-1}}$

Siendo X el número de grifos existentes en la instalación y K un coeficiente cuyo valor no debe ser inferior a 0,20:  $0,20 = K < 1$ .

Es comprensible que se utilicen otras fórmulas genéricas así como otras específicas para los diferentes tipos de edificios. En el caso de los hoteles es necesario un estudio particular, aunque generalmente el coeficiente de simultaneidad se multiplica por un factor 1,25. Para los internados, centros deportivos, gimnasios, cuarteles, etc., debe considerarse que todos los lavabos o las duchas pueden funcionar simultáneamente, salvo si la instalación está equipada con griferías de cierre temporizado, siendo necesario también en este caso un estudio particular. Para los hospitales, geriátricos, residencias para ancianos y oficinas el coeficiente de simultaneidad no está afectado por ningún factor corrector en particular. Para los restaurantes también se requiere un estudio específico. En este caso en particular, el coeficiente de simultaneidad generalmente se suele multiplicar por un factor 1,5.

En definitiva, la expresión de la norma francesa suele mayorarse de la siguiente forma:

- Instalaciones estándar  $Q_C = K * Q_{min}$
- Hoteles  $Q_C = 1.25K * Q_{min}$
- Restaurantes  $Q_C = 1.50K * Q_{min}$

En el cálculo de K interviene, como se ha indicado, el número X de grifos existentes en la instalación, aunque en ocasiones se tiene en cuenta la mayor influencia de los grifos con un caudal instalado alto frente a otro menor, ya que su consideración hace decrecer menos a K que un grifo con un pequeño caudal instalado.

Para tener en cuenta esta consideración basta ponderar los caudales instantáneos de los diversos grifos en unidades de gasto, haciendo corresponder a cada uno un factor de importancia relativa de valor igual a  $1/q$ . Así, adoptando como unidad de gasto el valor

del factor correspondiente al grifo de lavabo (gasto 0,10 l/s = 1 unidad) el del factor(Pancorbo, 2011).

### ***Métodos probabilísticos***

La teoría de la probabilidad, aunque es la más racional, es de dudosa aplicación cuando se trata del diseño de instalaciones hidráulicas en edificios con escasos aparatos sanitarios; además, los caudales y frecuencias de uso considerados en alguno de los procedimientos (por ejemplo, en el método probabilístico de Hunter) son demasiado altos para algunos de los países que han debido adaptarlas para su aplicación o para incorporarlas a sus normas.

### ***Método de los gastos probables de Hunter***

Otra forma de afrontar este problema es mediante el cálculo de probabilidades desarrollado e introducido en 1924 por el Roy Hunter del National Bureau of Standards de Estados Unidos.

En 1940 la Oficina Nacional de Normas del Departamento de Comercio de los Estados Unidos publicó el método de Roy B. Hunter con el título "Methods of estimating load in Plumbing systems". Se trata de la primera aplicación de la teoría de la probabilidad, en la determinación de los caudales probables en sistemas hidráulicos y sanitarios, y aunque desde entonces se han producido importantes cambios en el diseño de los aparatos sanitarios utilizados y en las griferías que los alimentan, orientados a reducir drásticamente los consumos de agua, la metodología utilizada es precisa y válida y, en consecuencia, es la más aceptada no sólo por los diseñadores norteamericanos sino también, aunque con modificaciones, por diseñadores de otros países, incluyendo Colombia

Para el dimensionamiento de las tuberías se tiene en cuenta que todos los aparatos instalados no funcionan simultáneamente, por esta razón se deben distinguir varios tipos de caudal. El método pretende evaluar el caudal máximo probable y se basa en el concepto de que únicamente unos pocos aparatos, de todos los que están conectados al sistema, entrarán en operación simultánea en un instante dado. El efecto de cada aparato, que forma parte de un grupo numeroso de elementos similares, depende de lo siguiente:

- a) Caudal del aparato, o sea, la rata de flujo que deja pasar el servicio (Q).
- b) Frecuencia de uso: tiempo entre usos sucesivos (T).
- c) Duración de uso: tiempo que fluye el agua para atender la demanda del aparato (t).

Este método se aplica a grandes grupos de elementos, ya que la carga de diseño es tal que tiene cierta probabilidad de no ser excedida (aunque lo puede ser en pocas ocasiones).

Según Hunter, se tiene un funcionamiento satisfactorio cuando las tuberías están proporcionadas para suministrar la carga de demanda para el número  $m$  del total de  $n$  aparatos del edificio, de tal forma que no más de  $m$  serán encontrados en uso simultáneo por más del 1% del tiempo.

Si se considera que en una instalación de  $n$  aparatos un número  $m$  de éstos se encuentre en funcionamiento simultáneo por más del 1% del tiempo, se puede expresar así:

$$p_0 + p_1 + p_2 + \dots + p_{m-1} + p_m = 0.99$$

$P$  es la probabilidad de no encontrar ningún aparato funcionando. Los términos faltantes de la serie son:

$$p = \sum_{r=m}^{r=n} \binom{n}{r} (1-p)^{n-r} p^r \leq 0.01$$



Que corresponde a la forma dada en las tablas de distribución binomial de probabilidades, excepto que la expresión  $(1 - p)$  reemplaza al término  $q$  de las tablas. El caudal de diseño se determina de acuerdo con:

$$Q_{diseño} = m * q$$

Hunter se ideó la forma de aplicar el método a sistemas con aparatos de diferente clase asignando el peso o influencia de un aparato con respecto a los demás; entonces, el número que identifica un aparato será una relación del número de válvulas de fluxómetro, que producen un caudal determinado, al número de aparatos de otro tipo que producen el mismo caudal.

*Unidades para un aparato*

$$= \frac{\text{Node Fluxómetros}}{\text{Node aparatos de otro tipo}} * \text{Unidades asignadas al fluxómetro}$$

Los valores aceptados por la mayoría de códigos para los diferentes aparatos se muestran en la tabla 4. Unidades de abastecimiento

*Método de Hunter modificado*

El método de Hunter, que es uno de los más utilizados, especialmente en América del Sur, obtiene valores de simultaneidad un tanto elevados para el medio latinoamericano, da como resultado para las conducciones diámetros mayores de los convenientes, por lo cual se recomienda reducir los valores obtenidos en un 40 % para alcanzar resultados más acordes con la tecnología actual y con el uso y frecuencia que se hace.

Este método se deriva del anterior, y la obtención de las unidades de consumo se realiza de forma idéntica, asignando un número de unidades de consumo (UC), la diferencia radica en la estimación de caudales, pues utiliza caudales promedios para cada aparato. El caudal máximo probable en función de la UC se puede establecer de dos formas: la

primera, mediante lectura directa desde la gráfica establecida (ilustración 39), donde se realiza una reducción del caudal promedio de los aparatos respecto al que se emplea en el método original. En otras palabras, el método determina gastos promedios o normales para los diferentes aparatos sanitarios, sin llegar a los extremos de gasto mínimo o gastos máximos del método de Hunter original.

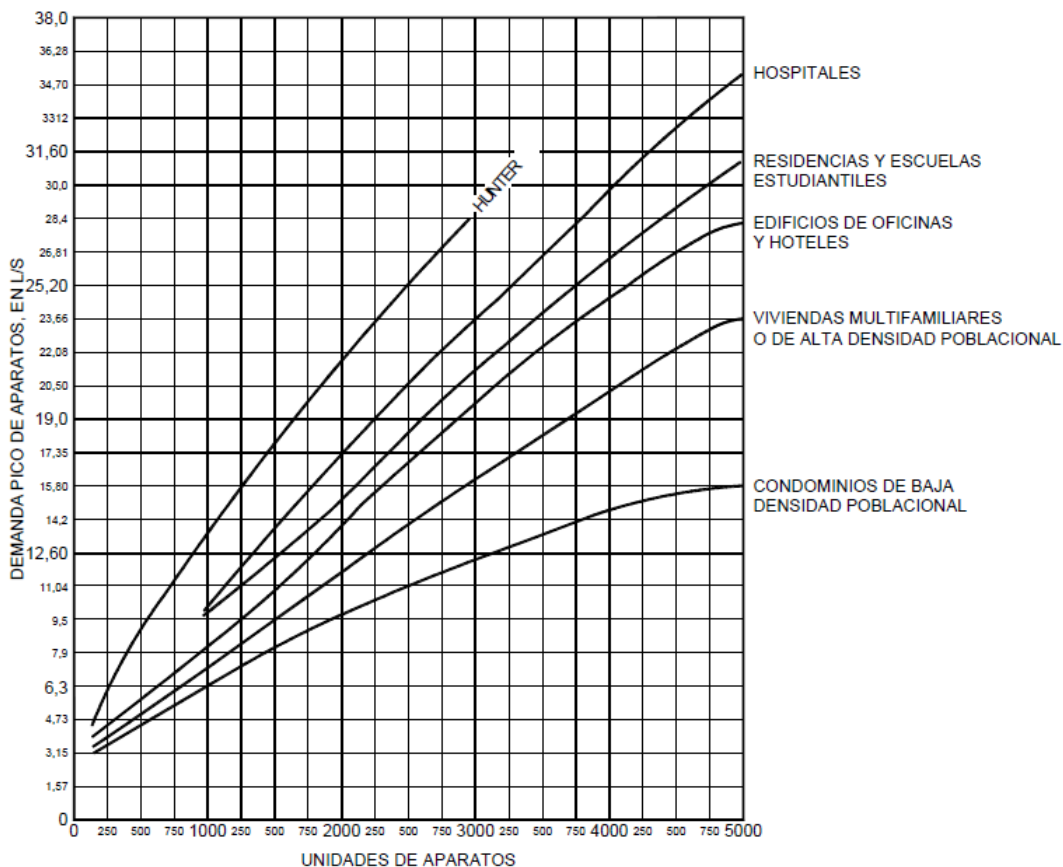


Ilustración 39. Curva de demanda Hunter.

Fuente: (Pancorbo, 2011).

Y la segunda forma utilizando las siguientes ecuaciones:

Para unidades de consumo entre  $3 < U.C. < 240$

- Para aparatos comunes:  $Q = 0,1163 * (U.C.)^{0,6875}$
- Para aparatos con fluxómetro:  $Q = 0,7243 * (U.C.)^{0,384}$

Para unidades de consumo entre  $260 < U.C. < 1000$

- Para aparatos comunes:  $Q = 0,074 * (U.C.)^{0,7504}$
- Para aparatos con fluxómetro:  $Q = 0,3356 * (U.C.)^{0,5281}$

Para calcular el caudal máximo probable de una red de distribución se deben identificar en cada tramo los aparatos que estén contenidos en él y determinar las unidades de consumo de cada uno de ellos utilizando la tabla 4, Unidades de abastecimiento de consumo. Posteriormente se suman las unidades de consumo de cada tramo y se define el caudal en lt/seg, según se tengan aparatos de fluxómetro o tanque. A medida que se avanza en los tramos se deben incorporar todos los aparatos que los preceden (Pancorbo, 2011).

Es importante aclarar que de acuerdo con los diferentes métodos que se tienen para calcular el caudal máximo probable es necesario realizar un análisis de las condiciones específicas del proyecto en cuanto a necesidades de suministro y los tiempos máximos y mínimos de consumo. En general, la Norma NTC-1500, como hemos visto, determina aplicar el método probabilístico de Hunter modificado; sin embargo, se pueden presentar casos diferentes que requieran otro tipo de cálculo. En el caso específico de edificios se debe aplicar el método probabilístico de Hunter modificado para cada una de las unidades y para la red principal el método de certeza total.

### **Cálculo altura dinámica total**

Para calcular la altura dinámica total, que es la altura total requerida en el punto crítico de la red, representada por el punto más alto y más alejado del punto de distribución, se utiliza la ecuación de Bernoulli.

El principio de Bernoulli, también denominado ecuación de Bernoulli o trinomio de Bernoulli, describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. Fue expuesto por Daniel Bernoulli en su obra *Hidrodinámica* (1738) y expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento), en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido. La energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes:

- Cinética: es la energía debida a la velocidad que posea el fluido.
- Potencial gravitacional: es la energía debido a la altitud que posee un fluido.
- Energía de flujo: es la energía que contiene un fluido, debido a la presión que posee.

Los efectos que se derivan a partir de la ecuación de Bernoulli eran conocidos por los experimentales antes de su formulación; de hecho, el reto estaba en encontrar la ley que diese cuenta de todos estos acontecimientos. En su obra *Hidrodinámica* Bernoulli encontró la ley que explicaba los fenómenos a partir de la conservación de la energía (cabe notar la similitud entre la forma de la ley de Bernoulli y la conservación de la energía).

$$E_t = z + \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} = cte$$

Donde:

$z$  = altura de la partícula medida con respecto a un nivel de referencia arbitrario

$\frac{V^2}{2g}$  = altura o cabeza de velocidad

$\frac{P}{\gamma}$  = altura o cabeza de presión

Del planteamiento de la ecuación de la energía para un tubo de corriente de flujo real incompresible, que se mueve en dos puntos de un sistema y teniendo en cuenta que se desarrollan pérdidas de energía, se obtiene que:

$$E_{t1} = E_{t2} + \sum \text{Pérdidas}$$

Donde:

$E_{t1}$  = energía total disponible en el punto inicial

$E_{t2}$  =energía total disponible en el punto final

$\sum \text{Pérdidas}$  =sumatoria delas pérdidas de energía producidas por fricción y localizadas en el tramo objeto de cálculo.

De esta forma se obtiene la ecuación para el cálculo de la cabeza dinámica total:

$$z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = z_2 + \alpha_1 \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + \sum \text{Pérdidas}_{1-2}$$

Donde:

$z$  =altura con respecto a un nivel de referencia

$V$  = velocidad media en la sección transversal

$\frac{P}{\gamma}$  =presión en el eje del tubo

$\alpha$  = coeficiente de corrección de la energía cinética, considerando distribuciones uniformes de velocidades en un flujo turbulento  $\alpha = 1$

$\sum \text{Pérdidas}_{1-2}$  = sumatoria de las pérdidas de energía producidas por fricción y localizadas entre los tramos 1 y 2.

Información tomada de (Díaz Sosa & Luna Rojas, 1991)

## Cálculo de pérdidas por fricción

A medida que un fluido circula por un conducto, tubo o algún otro dispositivo ocurren pérdidas de energía debido a la fricción que se presenta entre el líquido y la pared de la tubería. Tales energías generan una disminución de la presión entre dos puntos del sistema de flujo.

En estructuras con largos tramos, las pérdidas por fricción son muy importantes, lo cual ha sido objeto de investigaciones teórico-experimentales para llegar a soluciones satisfactorias de fácil aplicación.

Para estudiar el problema de la resistencia al flujo resulta necesario volver a la clasificación inicial de los flujos laminar y turbulento.

Osborne Reynolds (1883), con base en sus experimentos, fue el primero que propuso un criterio para distinguir ambos tipos de flujo mediante el número que lleva su nombre, el cual permite evaluar la preponderancia de las fuerzas viscosas sobre las de inercia.

En el caso de un conducto cilíndrico a presión, el número de Reynolds se define así:

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

Donde:

$V$  = Velocidad media

$D$  = diámetro

$\nu$  = viscosidad cinemática del fluido, como se trata de instalaciones hidráulicas se puede tomar  $\nu = 1.141E - 06 \text{ m}^2/\text{sg}$

Para determinar si el flujo es turbulento o laminar se utiliza el número de Reynolds de la siguiente forma:

$Re < 2000$ ..... flujo laminar

$Re > 40000$ ..... flujo turbulento

Es importante resaltar que tanto el flujo laminar como el turbulento resultan propiamente de la viscosidad del fluido, por lo que en ausencia de ésta no habría distinción entre ellos.

En el cálculo de las pérdidas por fricción son muy importantes los siguientes tres conceptos geométricos de la sección de una conducción hidráulica:

Área hidráulica (A). Es el área de la sección transversal ocupada por el líquido dentro del conducto.

Perímetro mojado (P). Es el tramo de la sección transversal del conducto, en el que se presenta contacto del líquido con la pared (no incluye la superficie libre si ésta existe).

Radio hidráulico (Rh). Es la relación entre el área hidráulica y el perímetro mojado ( $Rh = A / P$ ). (Saldarriaga V, 1998).

### **Fórmula de darcy-weisbach**

En 1850, Darcy, Weisbach y otros dedujeron experimentalmente la siguiente fórmula para calcular en un tubo las pérdidas por fricción:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} = \frac{8fLQ^2}{gD^5\pi^2}$$

Donde:

$h_f$  =pérdidas por fricción

$f$  =coeficiente de fricción del tramo (adimensional)

$L$  =longitud del tramo (m)

$D$  = diámetro efectivo de la tubería (m)

$V$  =velocidad media (m/s)

$g$  = aceleración de la gravedad (9,806 m/s<sup>2</sup>)

### Características

- Sirve para determinar las pérdidas de energía por fricción.

- Ecuación racional desarrollada analíticamente aplicando procedimientos de análisis dimensional.
- Derivada de las ecuaciones de la segunda Ley de Newton.
- La pérdida por fricción está expresada en función de las siguientes variables: longitud de la tubería, velocidad media del flujo (que también se puede expresar en términos del caudal) y diámetro de la tubería. Adicionalmente, también depende de un factor o coeficiente de fricción  $f$ .
- El coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach es, a su vez, función de la velocidad, el diámetro del tubo, la densidad y viscosidad del fluido y la rugosidad interna de la tubería. Agrupando variables se obtiene que  $f$  es función del número de Reynolds.
- Con esta ecuación se pueden calcular las pérdidas de cabeza para cualquier fluido newtoniano, siempre y cuando se utilicen las viscosidades y densidades apropiadas. Esto constituye la principal ventaja de esta fórmula, ya que las otras fórmulas estudiadas son empíricas y sólo pueden aplicarse en condiciones muy específicas.

El coeficiente de rozamiento  $f$  es variable y depende de la geometría de la tubería, del número de Reynolds y de su rugosidad absoluta (Saldarriaga V, 1998).

En la tabla 16 se presentan algunas fórmulas para el cálculo del factor de fricción  $f$ .

Tabla 16 Fórmulas para determinar el factor de fricción

Tipo de tubería	Tipo de flujo	Fórmula	Autor
Lisos o corrugados	Zona laminar	$f = \frac{64}{Re}$	Poiseuille
Lisos o corrugados	Zona de transición o turbulencia	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \text{LOG} \left( \frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$	Colebrook-White
Lisos PVC	Zona de transición o turbulencia	$f = 0.1622 NR^{-0.189}$	Rodríguez Díaz

Fuente: (Rodríguez Díaz, Mayo de 2005).



En la práctica, el factor de rugosidad se puede tomar de valores ya calculados, según el tipo de material, como se indica en la tabla 17.

*Tabla 17* Valores de rugosidad absoluta para distintos materiales

Material	$\epsilon$ (mm)	Material	$\epsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Fuente: <http://www.miliarium.com/>.

### Fórmula de hazen-williams

El método de Hazen-Williams es válido solamente para el agua que fluye en las temperaturas ordinarias (5 - 25 °C). La fórmula es sencilla y su cálculo es simple debido a que el coeficiente de rugosidad  $C$  no es función de la velocidad ni del diámetro de la tubería. Es útil en el cálculo de pérdidas de carga en tuberías para redes de distribución de diversos materiales, especialmente de fundición y acero:

$$h = 10.674 * \left[ \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} * D^{4.871}} \right] * L$$

Donde:

$h$  = pérdida de carga o de energía (m)

$Q$  = caudal (m<sup>3</sup>/s)

$C$  = coeficiente de rugosidad (adimensional)

$D$  = diámetro interno de la tubería (m)

$L$  = longitud de la tubería (m)

En la tabla 18 se muestran los valores del coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para diferentes materiales (Miliarium.com, 2001, 2008):

*Tabla 18 Coeficiente de Hazen-William para distintos materiales*

Material	C	Material	C
Asbesto cement	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro fundido, nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-140	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

Fuente: <http://www.miliarium.com/>.

### **Fórmula de Rodríguez Díaz**

La fórmula de Rodríguez Díaz parte de la fórmula de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{2,51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

La cual, mediante un ajuste a una ecuación potencial (R=0,997), determina como el factor de fricción:

$$f = 0.1622(NR^{-0.189})$$

Para valores de  $4000 < Re < 107$ , útil para tuberías de PVC.

Incorporándola a la ecuación de Darcy-Weisbach tenemos:

$$h_f = 0.0811 * \frac{V^{1.811} * v^{0.189}}{D^{1.189} g}$$

Información tomada de (Rodríguez Díaz, Mayo de 2005).

## Cálculo de pérdidas locales o por accesorios

Las pérdidas locales son las que se producen en pequeñas secciones de la red por efecto de alteraciones en las condiciones del flujo, por la utilización de los elementos y accesorios necesarios en el trazado de una red, que generan gastos de energía adicionales y se traducen en pérdidas de energía. Entre las pérdidas localizadas tenemos las siguientes:

- Por ampliación de sección
- Por cambio de dirección
- Por reducción o ampliación de la sección
- Pérdidas en entradas y salidas
- Pérdidas en los sistemas de control, válvulas, registros, etc.
- Por bifurcación
- Por dispositivos de control de flujo (medidores)

Experimentalmente se ha demostrado que la magnitud de las pérdidas es aproximadamente proporcional a la cabeza de velocidad por el coeficiente de pérdida del accesorio:

$$h_l = K * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$h_l$  = pérdidas locales

$K$  = coeficiente de pérdida del accesorio

Información tomada de (Díaz Sosa & Luna Rojas, 1991).

Para determinar el coeficiente  $K$  podemos utilizar tablas como la 17 que determinan este valor.

Tabla 19 Coeficientes K para diferentes accesorios.

	L/D	Diámetro nominal (en pulgadas)												
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2-3	4	6	8-10	12-16	18-24	
		Valores de K												
Válvula de compuerta (abierta)	8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.14	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Válvula de globo (abierta)	340	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1	4.8	4.4	4.1	
Válvula de retención horizontal (check)	100	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	
Válvula de retención horizontal oscilatoria (check)	50	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	
Válvula de pie de disco (de huso) con colador	420	11		9.7	9.3	8.8	8	7.6	7.1	6.3	5.9	5.5	5	
Válvula de pie de disco con bisagra	75	2	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1	0.9	
Codós estándar	90°	30	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.54	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
	45°	16	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.29	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
	90° radio largo	16	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.29	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
	180°	50	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6
Curvas de 90°	20	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.36	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	
T en línea (con derivación en la línea principal y lateral cerrada)	20	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.36	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	
T en línea (con circulación por derivación)	60	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.1	1.08	1	0.9	0.8	0.8	0.7	
Longitud equivalente = L/D*D														

Fuente: Adaptado de Cameron Hydraulic Data.

### Longitud equivalente

En términos básicos, el concepto de longitud equivalente ( $L_e$ ) consiste en definir para cada accesorio en el sistema que se va a estudiar una longitud virtual de tubería recta que, al utilizarse con la ecuación de pérdida por fricción, genere la misma pérdida asociada a la pérdida localizada del referido accesorio.

De esta forma, tanto las pérdidas por fricción como las pérdidas localizadas para cada diámetro en el sistema se evalúan con la misma ecuación de pérdidas por fricción para obtener la pérdida total ( $h_t$ ) del sistema.

Por tanto, la longitud equivalente de cualquier elemento puede determinarse igualando las fórmulas para el cálculo, así:

$$h_f = h_l$$
$$f * \frac{L_e}{D} * \frac{V^2}{2g} = K * \frac{V^2}{2g}$$

Despejando:

$$L_e = K * \frac{D}{f}$$

Información tomada de(Melguizo Bermúdez, 1980).

## **Cálculo del sistema de suministro para una red de distribución de agua potable en una edificación. Conceptos teóricos**

Para el diseño y cálculo de las instalaciones hidráulicas en una red de distribución de agua potable en un edificio, además de diseñar y calcular la red interna se debe diseñar el sistema de suministro, que está compuesto básicamente por la acometida, el tanque de almacenamiento y el equipo de suministro. A continuación se explican los parámetros de diseño.

### **Cálculo de la acometida de acueducto**

Para calcular el diámetro de la acometida se puede utilizar la fórmula de Darcy-Weisbach en función de las pérdidas de carga en la conducción.

$$D = \sqrt[5]{\frac{8fQ^2}{gh_f\pi^2}}$$

Donde:

$h_f$  = pérdidas por fricción

$f$  = coeficiente de fricción del tramo (adimensional)

$D$  = diámetro efectivo de la tubería (m)

$g$  = aceleración de la gravedad (9,806 m/s<sup>2</sup>)

$$h_f = \frac{8fQ^2}{gD^5\pi^2}$$

En este caso se tienen dos incógnitas y se debe suponer un diámetro y verificar que se cumplan los siguientes parámetros de la norma:

- La acometida del tanque se debe calcular para un tiempo de llenado no mayor a 12 h. Este valor se debe estimar con base en la experiencia, suponiendo un tiempo de llenado.

- La velocidad máxima de diseño debe ser de 2 m/s para tubería de diámetro inferior a 76,2 mm; para diámetros de 76,2 mm o mayores, la velocidad máxima debe ser de 2,50 m/s.

$$V = \frac{Q * 4}{\pi * D^2}$$

El diámetro se debe suponer con el diámetro interior, con base en la presión de trabajo de la tubería que se va a utilizar (tabla 5, Diámetros comerciales y sus propiedades (Melguizo Bermúdez, 1980).

### **Tanque de almacenamiento**

El tanque de almacenamiento desempeña un papel importante en el sistema de distribución de agua, tanto desde el punto de vista económico como del funcionamiento hidráulico del sistema y el mantenimiento de un servicio eficiente. Estos tanques cumplen dos propósitos fundamentales:

- 1) Compensar las variaciones de consumo que se producen durante el día.
- 2) Mantener almacenada cierta cantidad de agua para atender situaciones de emergencia, como incendios e interrupciones en el suministro.

Los tanques de almacenamiento se pueden ubicar de forma superficial (localizados a nivel del terreno), semienterrados o completamente enterrados.

Generalmente, y por Norma NSR, están contruidos en concreto reforzado, garantizando su impermeabilidad.

En los edificios multifamiliares, comerciales e industriales se debe aumentar la capacidad del tanque para mantener una reserva contra incendios.

En zonas sísmicas no conviene construir tanques elevados. La masa de agua colocada a determinada altura, apoyada en la estructura del edificio, magnífica los efectos del sismo.

Los requerimientos mínimos que debe cumplir un tanque de almacenamiento son los siguientes:

- Debe estar provisto de una compuerta de acceso que permita la entrada de una persona para hacer reparaciones y limpieza. Sus dimensiones mínimas deben ser de 60 x 60 cm.
- En tanques subterráneos, la compuerta de acceso debe quedar levantada un mínimo de 30 cm sobre el piso y estar ubicada dentro de una caseta construida especialmente para tal fin, la cual sólo se puede utilizar para instalar el sistema hidroneumático.
- La tapa de la compuerta de acceso debe ser hermética, para evitar la entrada de insectos o roedores.
- A un lado de la zona de la compuerta, para no obstruir el acceso, se debe colocar la tubería de aducción que viene del medidor y el flotante que controla la entrada de agua al tanque.
- Si el tanque es subterráneo debe estar provisto de un flotante automático conectado al tablero de control, para que interrumpa el funcionamiento de las bombas cuando el agua llegue al nivel mínimo.
- La boca de tubo de succión debe estar 10 cm por encima del nivel de fondo del tanque; por consiguiente, el nivel mínimo de agua debe ser de 20 cm.
- El tanque también debe estar provisto de una tubería de limpieza, que descargue en un desagüe de piso.
- Si sólo existe tanque subterráneo, la bomba debe impulsar el agua al tanque hidroneumático y de éste salir la tubería de servicio hacia la vivienda o industria.



- Cuando se usa un sistema hidroneumático es recomendable hacer una conexión directa de la aducción a la tubería de servicio, para que cuando haya suficiente presión en la calle se puede aprovechar el suministro directo. Para esto es necesario colocar en el sistema válvulas de retención que sólo permitan el paso del agua en un sentido, de tal manera que cuando funcione el sistema hidroneumático no devuelva el agua a la calle, y cuando funcione directo no fluya hacia el hidroneumático.
- El fondo del tanque debe tener una pendiente mínima de 1% hacia un pequeño foso, para facilitar la limpieza. Aquí se coloca la tubería de limpieza.
- El nivel máximo del agua en el tanque debe estar por lo menos 15 cm por debajo en la placa que forma la tapa, generalmente se dejan 30 cm libres. Este espacio constituye la cámara de aire.(Romero Martínez )

### **Volumen del tanque de almacenamiento**

El volumen del tanque de abastecimiento para una edificación está determinado por la siguiente fórmula:

$$V_{alm} = Consumopromedio * N_{personas}$$

$V_{alm}$  =Volumen de almacenamiento

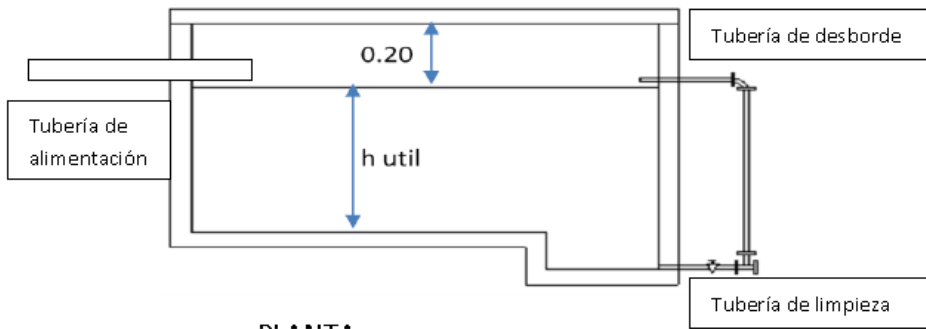
*Consumopromedio* =Es el consumo promedio por día por habitante, de acuerdo con el tipo de edificación.

$N_{personas}$  =Número de usuarios a quienes se les va a suministrar agua

(Anonimo, Rebelion.org, n.d.).

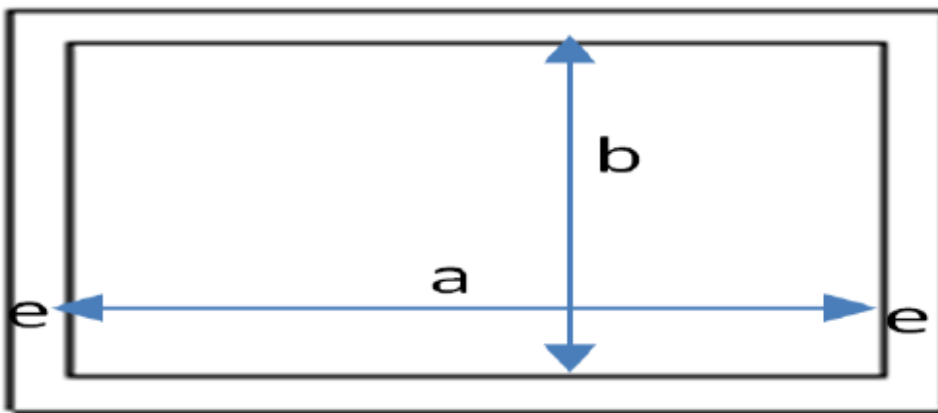
### ***Dimensionamiento del tanque***

Una vez determinado el volumen se procede a dimensionar el tanque.



*Ilustración 40.* Vista en corte de un tanque de almacenamiento.

*Fuente:* (Astudillo G, n.d.).



*Ilustración 41.* Vista en planta de un tanque de almacenamiento.

*Fuente:* (Astudillo G, n.d.).

$$V_{atm} = a * b(H_u + 0.20)$$

Donde:

ancho del tanque

$b$  = largo del tanque

$H_u$  = altura útil del tanque

Información tomada de (Argueta Méndez E. A., 2011).

## Tuberías del tanque de almacenamiento

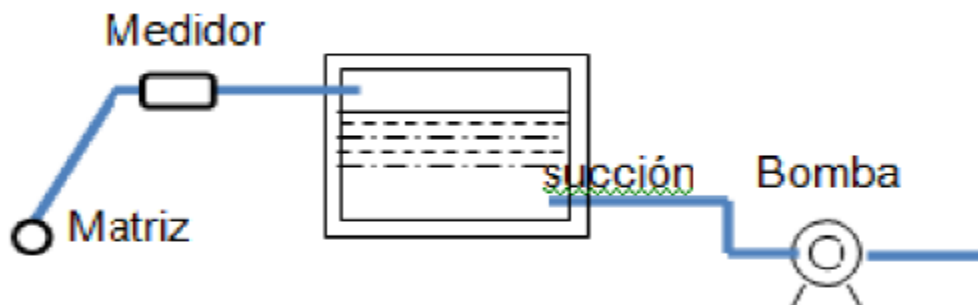
Según la Organización Panamericana de la Salud, la tubería del tanque de almacenamiento se puede dividir en dos: la tubería de succión y la de impulsión. A continuación se explica cada una.

### *Tubería de succión*

“Al utilizar un sistema de bombeo la succión puede ser positiva o negativa, según la ubicación del nivel del agua en el tanque de bombeo, ya sea por encima o por debajo respecto al eje de la bomba” (Astudillo Guillén, 2013).

#### *Succión positiva*

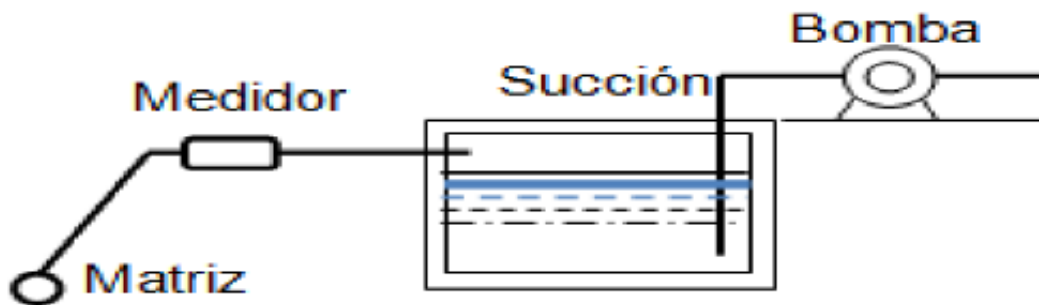
Se presenta cuando el nivel del agua se encuentra por encima del eje de la bomba, como se puede apreciar en la ilustración 42. (Astudillo Guillén, 2013).



*Ilustración 42. Succión positiva.*  
Fuente: (Astudillo G, n.d.)

#### *Succión negativa*

Se tiene una succión negativa cuando el nivel del agua se encuentra por debajo del eje de la bomba, como se aprecia en la ilustración 43. (Astudillo Guillén, 2013).



*Ilustración 43.* Succión negativa.  
*Fuente:* (Astudillo G, n.d.)

Para el diseño y montaje de una tubería de succión se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La tubería de succión debe ser lo más corta posible, evitando al máximo piezas especiales como curvas, codos, etc.
- Esta tubería siempre debe ser ascendente, hasta alcanzar la bomba. Se pueden admitir pequeños tramos perfectamente horizontales.
- La altura máxima de succión más las pérdidas de carga deben satisfacer las especificaciones establecidas por el fabricante de las bombas. Teóricamente, la altura de succión máxima sería de 10,33 m a nivel del mar (una atmósfera); sin embargo, en la práctica es muy raro alcanzar 7,50 m. Para la mayoría de las bombas centrífugas la altura de succión debe ser inferior a 5 m. Los fabricantes, generalmente, especifican las condiciones de funcionamiento para evitar la aparición de fenómenos de cavitación. Para cada tipo de bomba se debe verificar la altura máxima de succión. En la tabla 20 se especifican las alturas máximas de succión permisibles en función de la presión atmosférica.

Tabla 20 Alturas máximas de succión

<b>Altitud</b>	<b>Presión Atmosférica</b>	<b>Límite Práctico De Succión</b>
<b>mt</b>	<b>Mh2o</b>	<b>mt</b>
0	10.33	7.60
300	10.00	7.40
600	9.64	7.10
900	9.30	6.80
1200	8.96	6.50
1500	8.62	6.25
1800	8.27	6.00
2100	8.00	5.70
2400	7.75	5.50
2700	7.50	5.40
3000	7.24	5.20

Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 2005.

- El diámetro de la entrada de la bomba no se debe tomar como indicador para el diámetro de la tubería de succión. Para la tubería se adoptan diámetros mayores, con el fin de reducir las pérdidas de carga.
- El diámetro de la tubería de succión debe ser tal que la velocidad en su interior no supere los valores especificados en la tabla 21.

Tabla 21 Diámetro de la tubería de succión en función de la velocidad

<b>Diámetro</b>	<b>Velocidad</b>
<b>mm</b>	<b>m/s</b>
50	0.75
75	1.10
100	1.30
150	1.45
200	1.60
250	1.60
300	1.70
400 o mayor	1.80

Fuente: Organización Panamericana de la

Salud, 2005.

La pérdida de carga por fricción a lo largo de la tubería de succión puede calcularse mediante la fórmula de Darcy-Weisbach:

$$S_f = \frac{h_f}{L} = f * \frac{1}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

V = velocidad media, m/s.

D = diámetro, m.

Sf = pérdida de carga unitaria, m/m.

f = coeficiente de fricción que depende de la rugosidad de la paredes de la tubería y del Numero de Reynolds.

$$f = \frac{64}{Re}$$

$$Re = \frac{v_s D}{\nu}$$

Para calcular las pérdidas de carga localizadas en la tubería de succión o impulsión se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$h_l = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde,

h<sub>l</sub> = pérdida de carga, m.

K = coeficiente de pérdida de carga singular adimensional.

V = velocidad media en la sección, m/s.

g = aceleración de la gravedad, m/s<sup>2</sup>.

El diámetro interno de la tubería de succión puede calcularse con la siguiente expresión:

$$d = 1.1284 \sqrt{\frac{Q}{V}}$$

Donde,

d = diámetro interno de la tubería de succión, m

Q = caudal de bombeo, m<sup>3</sup>/s

V = velocidad media de succión, m/s

Otros aspectos que se deben considerar en el diseño y cálculo de una tubería de succión son los siguientes:

- Al extremo de la tubería de succión se debe instalar una rejilla, con un área libre de los orificios de la criba de 2 a 4 veces la sección de la tubería.
- En caso de que no se disponga de otro medio para cebar la bomba, se debe prever la utilización de una válvula de pie al extremo de la tubería de succión.
- Cuando el diámetro de la tubería de succión sea mayor que el de admisión de la bomba, la conexión debe realizarse por medio de una reducción excéntrica con su parte superior horizontal, con el fin de evitar la formación de bolsas de aire.
- En tuberías de succión verticales las reducciones deben ser concéntricas.
- La tubería de succión generalmente tiene un diámetro comercial inmediatamente superior al de la tubería de descarga.
- En una tubería de succión con presión positiva se debe instalar una válvula de compuerta.

- En una tubería de succión que no trabaje con presión positiva se debe instalar, en su extremo inferior, una válvula de retención para evitar el cebado.
- Siempre que las bombas tengan sus tuberías de succión conectadas a una tubería única (de mayor diámetro), las conexiones se deben hacer por medio de Y (uniones), evitando el empleo de T.
- No se deben instalar curvas horizontales, codos o t junto a la entrada de las bombas (Organización Panamericana de la Salud, 1966).

### ***Tubería de impulsión***

Una tubería de impulsión es la que se utiliza para conducir el agua desde puntos de menor cota hasta otros ubicados a cotas mayores. La única forma de contrarrestar la diferencia de elevaciones es a través de equipos de bombeo, generalmente del tipo centrífugo, si se trata de abastecimiento y recolección de agua.

El diámetro de la tubería de impulsión se determina con base en un análisis técnico económico. Teóricamente puede asumir cualquier valor; sin embargo, existe un costo si se cumplen los criterios mencionados.

El análisis debe considerar que si el diámetro adoptado es grande, la pérdida de carga en la tubería será pequeña y, por tanto, la potencia de la bomba será reducida; consecuentemente, el costo de la bomba será reducido, pero el de la tubería de impulsión será elevado. El análisis inverso también es valedero, es decir, si adoptamos un diámetro pequeño, al final el costo de la tubería de impulsión será reducido y el de la bomba será elevado.

Para calcular la tubería de impulsión para sistemas que trabajan continuamente se puede emplear la fórmula de Bresse:



$$D = K \sqrt{Q}$$

Donde:

D = diámetro económico, m

K = coeficiente entre 0,9-4,0

Q = caudal de bombeo, m<sup>3</sup>/s

De acuerdo con esta fórmula, la medición de una línea de impulsión se hace básicamente por imposiciones económicas; por tanto, el valor del coeficiente K es consecuencia del precio de la energía eléctrica, de los materiales y la maquinaria empleada en las instalaciones, lo cual varía con el tiempo y la región.

Tratándose de instalaciones pequeñas, la fórmula de Bresse puede llevar a un diámetro aceptable. Para instalaciones grandes da una primera aproximación, pero es conveniente realizar un análisis económico, en el cual se investiguen los diámetros inferiores y superiores más próximos.

En el diseño y cálculo de tuberías de impulsión, además, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Dotar el sistema de dispositivos que aseguren los riesgos debidos al fenómeno del golpe de ariete.
- A la salida de la bomba se debe proyectar una válvula de retención y una de compuerta. Así mismo, hay que considerar la instalación de uniones flexibles para mitigar los efectos de vibración.
- En todo cambio de dirección se deben estimar elementos de anclaje y sujeción.

- El diámetro de las tuberías largas se debe calcular con velocidades relativamente bajas, generalmente entre 0,65 y 1,50 m/s.
- Para distancias cortas, el diámetro de la tubería de impulsión se debe calcular para velocidades mayores, que esté entre 1,50 y 2,00 m/s.

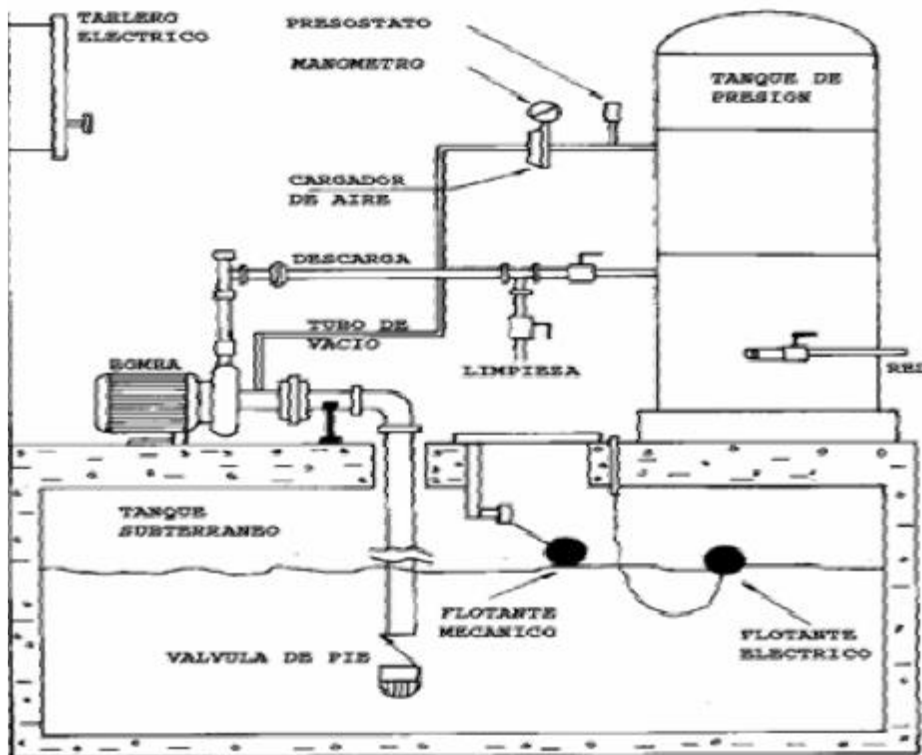
La tubería de impulsión no se debe diseñar con cambios bruscos en la dirección del flujo. Se deben instalar los dispositivos necesarios para evitar el contraflujo del agua, cuando la bomba deje de trabajar o en caso de que exista falla eléctrica (Organización Panamericana de la Salud, 1966).

### **Sistema de bombeo**

Los sistemas hidroneumáticos sirven para mantener constante la presión en las tuberías de aguas blancas dentro de una casa, oficina o planta purificadora. Estos sistemas permiten que el líquido salga a la presión y flujo adecuados, sin importar la distancia a la que se encuentren los equipos y artefactos que demandan agua.

Los sistemas hidroneumáticos han demostrado ser una opción eficiente y versátil, con grandes ventajas frente a otros sistemas. Evitan la construcción de tanques elevados, colocando un sistema de tanques parcialmente llenos con aire a presión, lo cual provoca que la red hidráulica mantenga una presión constante, mejorando el funcionamiento de lavadoras, filtros y regaderas, con un llenado rápido de depósitos en inodoros, operaciones de fluxómetros y riego por aspersion, entre otros; lo que demuestra la importancia de estos sistemas en diferentes áreas de aplicación. Además, evitan la acumulación de algas y suciedad en las tuberías ocasionado por flujo a bajas velocidades. Este sistema no requiere tanques ni red hidráulica de distribución en las azoteas de los edificios (evitando problemas de humedad por fugas en la red).

El sistema hidroneumático puede tener una sola bomba o estar diseñado con dos, tres o cuatro bombas, su funcionamiento es exactamente igual, la diferencia consiste en que con un mayor número de bombas se fracciona el caudal de diseño. Las bombas trabajan automáticamente, adicionando o sustrayendo caudal en concordancia con las solicitudes de la edificación, es decir, en la hora de mayor consumo el abastecimiento lo hacen todas las bombas, actuando en paralelo. También tiene la ventaja de que permite realizar reparaciones sin suspender el suministro a la red (Argueta Méndez E. A., 2011).



*Ilustración 44.* Hidroneumático residencial.

*Fuente:* (Argueta Méndez E. A., 2011).

### Ciclos de bombeo

Para el cálculo de un sistema hidroneumático se deben tomar en consideración los llamados ciclos de bombeo, es decir, el número de arranques del equipo de bombeo en un periodo de una hora.

Cuando se dimensiona un tanque se debe considerar la frecuencia del número de arranques del motor de la bomba. Si el tanque es demasiado pequeño, la demanda de distribución normal extrae el agua útil rápidamente y los arranques de las bombas son demasiado frecuentes. Un ciclo muy frecuente causa desgaste innecesario de la bomba y un consumo excesivo de potencia.

Por convención se emplea una frecuencia de 4 a 6 ciclos por hora. El ciclo de cuatro arranques por hora se utiliza para el bienestar del usuario y se considera que más de seis arranques durante este lapso pueden ocasionar un sobrecalentamiento del motor, desgaste innecesario de la bomba y excesivo consumo de energía eléctrica.

El punto en que ocurre el número máximo de arranques se da cuando el caudal de demanda de la red alcanza el 50% de la capacidad de la bomba. En este punto, el tiempo que funcionan las bombas iguala al tiempo en que están detenidas. Si la demanda es mayor al 50%, el tiempo de funcionamiento será más largo; cuando la bomba se detenga, la demanda aumentada extrae el agua útil del tanque más rápidamente, pero la suma de los dos periodos es más larga. Esto se puede comprobar definiendo las posibles situaciones con que se puede enfrentar el sistema y determinando las más desfavorables, como se verá a continuación (Argueta Méndez E. A., 2011).

Los ciclos de bombeo se pueden considerar de acuerdo con:

***Tiempo  $t_1$  de reposición del volumen de reserva del tanque hidroneumático***

Si se define como  $A$  el volumen de agua que presenta la diferencia entre el arranque y la detención de la bomba (también llamado volumen de regulación), el tiempo que tarda la bomba en reponer dicho volumen es:

- Cuando en la instalación no se produce ningún gasto:

$$t_1 = \frac{A}{Q_b}$$

- Cuando en la instalación se produce un consumo de agua, una parte del caudal de la bomba se destina a cubrir dicho gasto y, por tanto, la expresión anterior queda:

$$t_1 = \frac{A}{Q_b - Q_c}$$

Donde:

$A$  =volumen que se debe reponer en litros

$Q_b$  = caudal de la bomba en lps

$Q_c$  =caudal consumido por la instalación en el periodo T entre arrancadas, lps

$t_1$  =tiempo en segundos que tarda la bomba en reponer el volumen A

### ***Tiempo t2 que tarda en consumirse el volumen de reserva A***

Una vez lleno el depósito, si la instalación demanda un gasto del caudal  $Q_c$ , el tiempo  $t_2$  que tarda en consumirse el volumen de reserva A será:

$$t_2 = \frac{A}{Q_c}$$

### ***Tiempo T entre arrancadas***

El tiempo total T entre dos arrancadas de la bomba es igual a la suma de ambos tiempos:

$$T = t_1 + t_2$$

Cuanto mayor sea el tiempo T, menor será la frecuencia de arrancada de la bomba.

### **Valor T más desfavorable**

Las posibles situaciones en que puede encontrarse la instalación son:

- El caudal que se consume en la instalación es mínimo.

$$t_1 = \frac{A}{Q_b - Q_c}$$

El tiempo  $t_1$  que resulta ser mínimo cuando  $Q_c$  se hace cero, puesto que todo el caudal de la bomba se destina a reponer el volumen  $A$  de reserva, quedando la expresión anterior como:

$$t_1 = \frac{A}{Q_b}$$

Sin embargo, con  $t_2$  pasa lo contrario, es decir, que cuando  $Q_c$  se acerca a valores cercanos a cero  $t_2$  tiende a infinito:

$$t_2 = \frac{A}{Q_c = 0} \rightarrow \infty$$

Como resulta que el valor  $T$ , que es el que interesa, es el resultado de la suma de los valores  $t_1$  y  $t_2$ , se está en un caso favorable respecto a la necesidad de que la frecuencia de arrancadas de la bomba sea pequeña.

- El caudal que se consume es máximo, es decir,  $Q_c = Q_b$ .

$$t_1 = \frac{A}{Q_b - Q_c = 0} \rightarrow \infty$$

Lo que hace irrelevante el valor de  $t_2$ , concluyendo que se está también en un caso favorable respecto a la frecuencia de arrancadas de la bomba.

- El caudal que se consume,  $Q_c$ , corresponde a valores intermedios entre 0 y  $Q_b$ .

Si  $Q_c$  es igual a  $Q_b/4$ .

Sustituyendo  $Q_c$  por su valor, la expresión para  $t_1$  queda:

$$t_1 = \frac{A}{Q_b - \frac{Q_b}{4}} = \frac{4A}{3Q_b}$$

Por otra parte, tenemos:

Sustituyendo, también, en la expresión  $t_2$ :

$$t_2 = \frac{A}{\frac{Q_b}{4}} = \frac{4A}{Q_b}$$

Hallando  $T$  como suma de  $t_1$  y  $t_2$  y sustituyéndolos por sus valores en función de  $A$  y  $Q_b$ :

$$T = \frac{4A}{3Q_b} + \frac{4A}{Q_b} = \frac{16A}{3Q_b}$$

Si se tabula  $Q$  en función de  $Q_b$  se tiene:

Tabla 22 Valores de  $T$  en función de  $Q_c$

$Q_c = f(Q_b)$	$t_1$	$t_2$	$T = t_1 + t_2$
0	$A/Q_b$	$\infty$	$\infty$
$Q_b/8$	$8A/7Q_b$	$8A/Q_b$	$64A/7Q_b$
$Q_b/4$	$4A/3Q_b$	$4A/Q_b$	$16A/3Q_b$
$Q_b/2$	$2A/Q_b$	$2A/Q_b$	$4A/Q_b$
$3Q_b/4$	$4A/Q_b$	$4A/3Q_b$	$16A/3Q_b$
$7Q_b/8$	$8A/Q_b$	$8A/7Q_b$	$64A/7Q_b$
$Q_b$	$\infty$	$A/Q_b$	$\infty$

Fuente: (Rodríguez Díaz, Mayo de 2005).

En la tabla 22 se puede observar que el punto más desfavorable, es decir,  $T$  máximo, es cuando el caudal que demanda la edificación es igual a la mitad del caudal que suministra la bomba.

Algunos autores recomiendan asociar el valor  $T$  con la potencia de las bombas que se van a utilizar en el equipo hidroneumático (Rodríguez Díaz, Mayo de 2005).

Tabla 23 Valores de T en función de la potencia de las bombas

Potencia (H.P.)	T (min)
1-3	1,2
3-5	1,8
5-7.5	2,0
7.5-15	3,0
15-30	4,0
Más de 30	6,0

Fuente: (Rodríguez Díaz, Mayo de 2005).

### Valor del volumen de reserva (tanque hidroneumático)

Una vez establecido el valor de  $Q_c$  que resulta más favorable, se puede determinar el volumen total  $V_t$  del depósito a presión que falta para que con dicho caudal se pueda mantener el número de arrancadas de la bomba con la frecuencia deseada.

Para ello, si el volumen de reserva  $A$  se expresa en función de valores conocidos como el caudal de la bomba  $Q_b$  y el valor del número de arrancadas por hora,  $N_c$  (número de ciclos), que como máximo pueden admitirse, para alcanzar consumo más desfavorable se emplea:

$$Q_c = \frac{Q_b}{2}$$

En la consideración anterior se tiene que:

$A$  = volumen en litros de reserva o útil que representa la diferencia entre la presión máxima y mínima en el depósito a presión y, por tanto, entre el arranque y la detención de la bomba.

$Q_b$  = caudal de la bomba en litros/minuto.

$N_c$  = número de ciclos, número de arrancadas de la bomba por hora, frecuencia de maniobras que se producen tomando como unidad de tiempo uno hora.

Según se ha visto:



$$T = \frac{4A}{Q_b}$$

A su vez, por definición:

$$N = \frac{60}{T}$$

Despejando T de y reemplazando en N:

$$\frac{60}{N} = \frac{4A}{Q_b}$$

Despejando A en la anterior expresión:

$$A = \frac{15Q_b}{N_c}$$

Esta expresión es muy útil, ya que permite expresar el valor de A en función de valores conocidos o que se pueden fijar (Rodríguez Díaz, Mayo de 2005).

### ***Volumen útil $V_t$ del tanque hidroacumulador***

Para el funcionamiento del equipo se deben considerar tres momentos posibles:

- a) El depósito o está completamente lleno

$P_1$  = presión máxima absoluta en el depósito correspondiente al volumen  $V_1$  de aire

$V_1$  = volumen mínimo de aire en la parte superior del depósito

- b) El depósito se encuentra en el nivel donde tiene su arranque de la bomba, porque la presión es mínima.

$P_2$  = presión mínima absoluta en el depósito correspondiente al volumen  $V_2$  de aire

$V_2$  = volumen máximo de aire en la parte superior del depósito

Cabe resaltar que el volumen útil o de reserva A es igual a la diferencia entre  $V_2$  y  $V_1$ :

$$A = V_2 - V_1$$

c) El depósito está vacío, el nivel del agua se encuentra por encima de los tubos de entrada y salida.

$P_t$  = presión absoluta del aire en el depósito, correspondiente al volumen  $V_t$  de aire.

$V_t$  = volumen del depósito, contado desde el nivel mínimo que cubre los tubos de entrada y salida del agua.

Aquí la presión puede ser igual a la atmosférica o una mayor, en caso de que el depósito cuente con una presión inicial aportada mediante compresor.

Suponiendo condiciones isotérmicas y utilizando la ley de los gases ideales se tiene:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = P_t V_t$$

Por tanto:

$$P_2 V_2 = P_t V_t \quad \text{y} \quad P_1 V_1 = P_t V_t$$

Luego:

$$V_1 = \frac{P_t V_t}{P_1}$$

Por otra parte:

$$V_2 = A + V_1$$

Sustituyendo  $P_2$  en los valores hallados:

$$P_2 (A + V_1) = P_t V_t$$

Y, posteriormente:

$$P_2 \left( A + \left( \frac{V_t P_t}{P_1} \right) \right) = P_t V_t$$

Operando y despejando  $V_t$  se obtiene que:

$$V_t = \frac{A P_1 P_2}{(P_1 - P_2)}$$

En caso de que el depósito no esté dotado de ninguna presión inicial y, por tanto,  $P_t$  sea igual a la atmosférica a nivel del mar ( $1 \text{ Kg/cm}^2$ ). Si al depósito se le dota de una presión inicial equivalente a la presión mínima  $P_2$  la expresión se convierte en:

$$V_t = \frac{AP_1}{(P_1 - P_2)}$$

Que lógicamente representa un depósito de dimensiones menores.

Por otra parte, si se sustituye  $A$  por un valor en función de  $Q_b$  (caudal de la bomba elegida) y de  $N_c$  (número de arrancadas de la bomba en una hora), hallados previamente, se tiene que para el caso más desfavorable (cuando  $Q_c = \frac{Q_b}{2}$ ).

$A = \frac{15Q_b}{N_c}$  Sustituyendo  $A$  en  $V_t$ , quedará:

$$V_t = \frac{15Q_b P_1 P_2}{N_c (P_1 - P_2)}$$

$$V_t = \frac{15Q_b P_1}{N_c (P_1 - P_2)}$$

En muchos modelos de tanques hidroacumuladores el volumen  $V_t$  representa una fracción de su volumen total  $V$ . Esta fracción, denominada  $K$ , que puede oscilar entre 70 y 90%, permite establecer las siguientes expresiones:

Sin compresión inicial ( $P_t = 1 \text{ atm}$ ):

$$V = \frac{15Q_b P_1 P_2}{KN_c (P_1 - P_2)}$$

Con compresión inicial  $P_t = P_2$ :

$$V = \frac{15Q_b P_1}{KN_c (P_1 - P_2)}$$

Es importante aclarar que para utilizar las expresiones anteriores la presión absoluta debe expresarse en atmósferas. También, en tales fórmulas  $P_2$  será la presión mínima exigible

para la instalación, es decir, 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 del servicio (presión del aparato más desfavorable).

$$P_2 = Z + \sum (\text{pérdidas}) + P_s$$

En cuanto al valor  $P_1$  se recomienda que no exceda en más de 1,5 atmósferas el valor de  $P_2$  (20 psi, aproximadamente, o 14 mca); sin embargo, no se fija un límite máximo que se pueda utilizar, por lo que se debe tener en cuenta que al aumentar el diferencial de presión aumenta la relación de eficiencia del cilindro considerablemente y, por lo tanto, se reduce el tamaño final de éste. Pero también puede suceder que aumentar demasiado el diferencial ocasiona inconvenientes, unos pequeños como un mayor espesor de lámina del tanque, elevando así su costo y obligando a utilizar bombas de mayor potencia para vencer la presión máxima; o graves, como fugas en las piezas sanitarias, acortamiento de su vida útil o el total reemplazo del sistema hidroneumático (Rodríguez Díaz, Mayo de 2005).

### **Selección del sistema hidroneumático**

Para esta selección primero se debe tener en cuenta el caudal diario que debe hacer circular el sistema, el tipo de bomba o motor y calcular la potencia que se debe generar para que el depósito que provee la presión se abastezca de forma correcta y constante cuando sea necesario, es decir, cada vez que los ciclos de bombeo se repitan.

La primera consideración que se debe hacer al seleccionar el tamaño de las bombas es que sean capaces de abastecer por sí mismas la demanda máxima dentro de los rangos de presiones y caudales establecidos, proveyendo al menos el 140% de la demanda máxima probable.

En las viviendas que albergan un máximo de diez personas se recomienda el uso de una sola bomba, en cualquier otro tipo de edificaciones deben seleccionarse dos o más unidades de bombeo (Argueta Méndez E. A., 2011)

### ***Potencia de la bomba***

Cuando se seleccione el tipo o tamaño de la bomba se debe tener en cuenta que ésta debe abastecer la demanda máxima dentro de los rangos de presiones y caudales establecidos, y siempre debe existir una bomba adicional para alternar y cubrir entre todas la demanda máxima probable.

La potencia de la bomba para un sistema hidroneumático se puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$HP = \frac{Q_b H}{75\eta}$$

Donde:

$Q_b$  = caudal de bombeo en lps

$H$  = altura dinámica de bombeo en mt

$HP$  = potencia de la bomba en caballos de vapor

$\eta$  = eficiencia de la bomba, que puede tomarse alrededor de 0,7

Información tomada de (Argueta Méndez E. A., 2011).

### **Ejemplo de diseño para una red de suministro utilizando Epanet**

No se pueden desconocer los grandes avances tecnológicos en el desarrollo de herramientas para las diferentes áreas del conocimiento. En ingeniería civil, por ejemplo, se han creado diversos programas para el cálculo y el diseño. En lo que tiene que ver directamente con el análisis de sistemas de distribución de agua potable, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos ha desarrollado el Epanet, que es un programa de dominio público que permite analizar y evaluar el comportamiento hidráulico de un sistema a presión. A partir de la generación del sistema y su modelación se pueden determinar resultados aplicables al diseño de la red (velocidad de flujo, presiones, alturas, pérdidas, etc.), lo cual lo hace un programa muy útil y versátil en la evaluación de los sistemas a presión.

La gran ventaja que presenta Epanet en relación con los cálculos manuales, o por medio de hojas de cálculo, es que a partir de los resultados obtenidos se pueden realizar un sinnúmero de análisis. Con el cambio de cualquier valor se pueden tener rápidamente diferentes resultados en las demandas, presiones, alturas, rugosidades, pérdidas unitarias, etc.

Para comprender la modelación en Epanet, en el presente capítulo se toma como base el siguiente ejemplo, el cual se irá desarrollando con cada explicación.

#### *Ejemplo:*

Se tiene una edificación con una torre de cuatro pisos, cuatro apartamentos por piso y sótano de parqueo donde se debe ubicar el tanque de almacenamiento. Cada apartamento está compuesto por sala comedor, cocina, dos habitaciones, baño social baño habitación principal y vestir (ver plano anexo en medio físico y magnético).

## **Traslado del isométrico desde AutoCAD a Epanet utilizando EpaCAD**

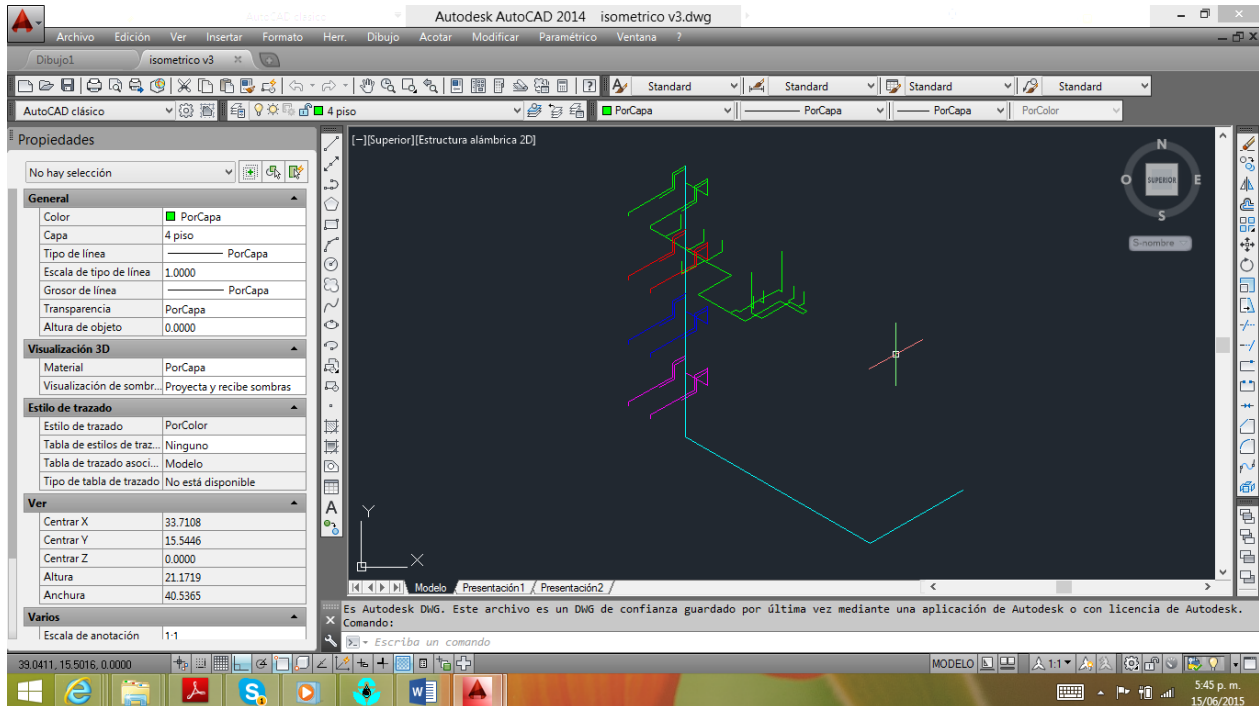
En ingeniería civil la herramienta informática más utilizada es AutoCAD, un software del tipo CAD (Computer Aided Design o diseño asistido por computador), creado por la empresa norteamericana Autodesk. La primera versión se lanzó al mercado en 1982, desde entonces se posicionó como el software para el modelado de estructuras o planos más utilizado en arquitectura e ingeniería en todo el mundo. De aquí se puede suponer que el diseño y trazado de la red que se quiere calcular se tenga en AutoCAD y deba trasladarse a Epanet.

Para hacer esta conversión, el ITA (anteriormente Instituto Tecnológico del Agua), que se originó en torno a la cátedra de mecánica de fluidos de la Universidad Politécnica de Valencia, desarrolló EpaCAD, un programa que permite convertir de forma sencilla un fichero que contenga una red de AutoCAD en un fichero interpretable por Epanet. Este software reconoce de forma automática las principales propiedades de los elementos, facilitando en gran medida el trabajo necesario para generar una red (Valencia, 2015).

A continuación se explica el procedimiento para trasladar un plano desde el formato de AutoCAD a Epanet.

### **Pasos para el traslado**

- 1) Dibujar el isométrico en AutoCAD. Se requiere que el trazado de la red esté hecho en forma de isométrico, como se muestra en la ilustración 45, teniendo en cuenta todos los parámetros descritos, identificando cada uno de los componentes de una red de distribución.



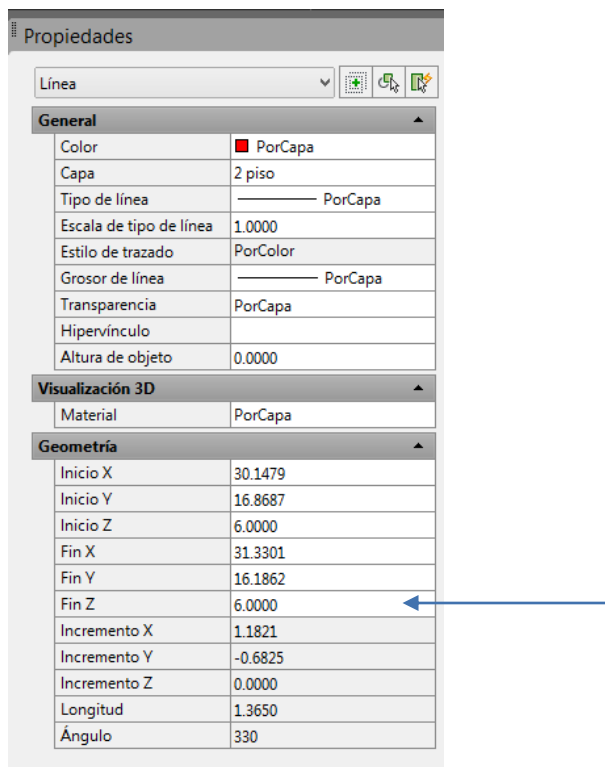
*Ilustración 45. Isométrico en el programa AutoCAD.*

*Fuente: Esquema desarrollado por el autor en AutoCAD.*

- 2) Se puede reducir el trabajo en Epanet insertando las alturas o cotas para cada tubería, como se muestra en la Ilustración 46, desde la tabla de **propiedades de AutoCAD>>Geometría>>Fin z** y colocando el valor correspondiente a la cota de la tubería.
- 3) El trazado del isométrico de la red de distribución debe estar en capas diferentes al resto del plano. Es importante tener en cuenta que EpaCAD interpreta como nudo el inicio y final de cada línea; de lo contrario, coloca nudos en cada vértice de la poli línea, según se defina.
- 4) Guardar el archivo como .dxf, extensión común para estos programas.
- 5) Posteriormente, en EpaCAD se abre el archivo .dxf.
- 6) A la izquierda de la pantalla aparecen las capas que contiene el plano, se deben seleccionar las que pertenezcan al isométrico.



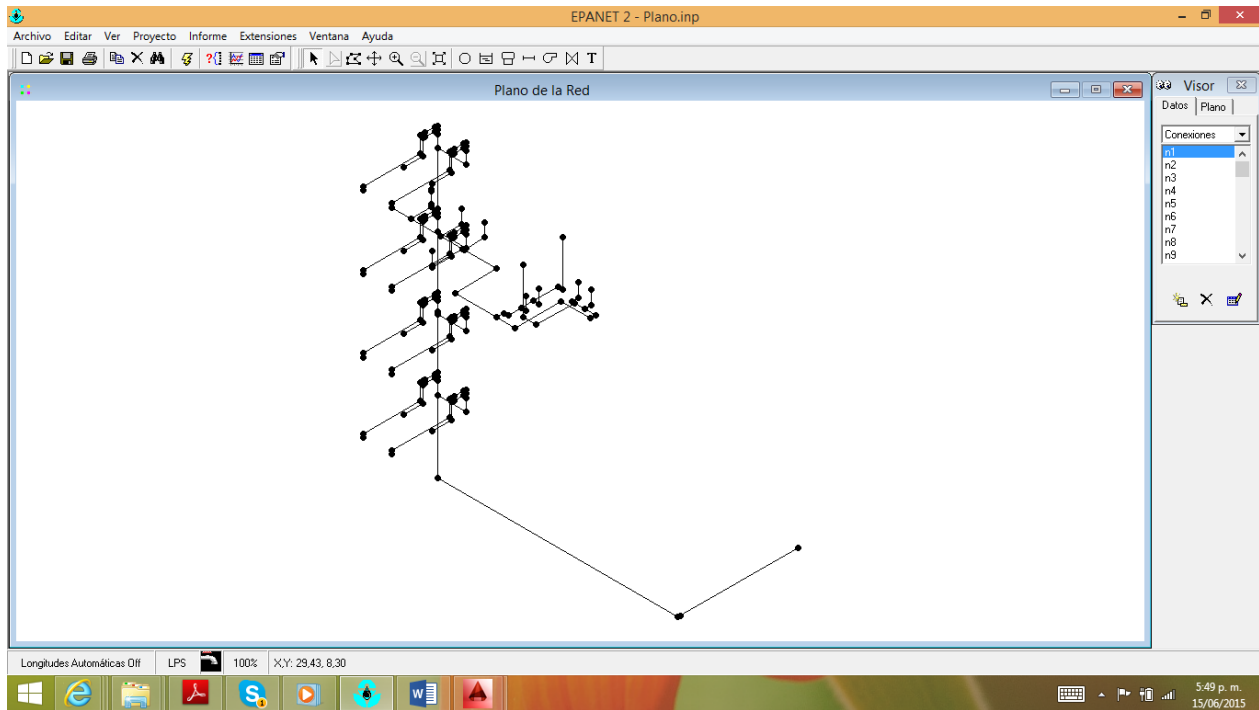
- 7) En la mitad de la pantalla se presentan las opciones Modo de conversión (Modo vértices o Modo nodos) y la tolerancia para conectividad (No considerar tolerancias o Considerar valor a indicar).



*Ilustración 46.* Tabla de propiedades del programa AutoCAD.  
*Fuente:* AutoCAD.

- 8) En la parte inferior central aparecen las opciones Atrás o Siguiente, si se está seguro de las elecciones realizadas se continúa.
- 9) Se abre una nueva ventana, donde se puede observar una imagen previa del trazado de la red.
- 10) Finalizar y guardar el archivo como .inp.
- 11) Debe aparecer una ventana indicando: Archivo generado satisfactoriamente.
- 12) Una vez creado el fichero se puede abrir directamente con Epanet, en el icono izquierdo superior: Lanzar.

- 13) Así de sencillo se puede tener en Epanet el isométrico de la red, con las longitudes reales y las cotas de la tubería, como se muestra en la ilustración 47.



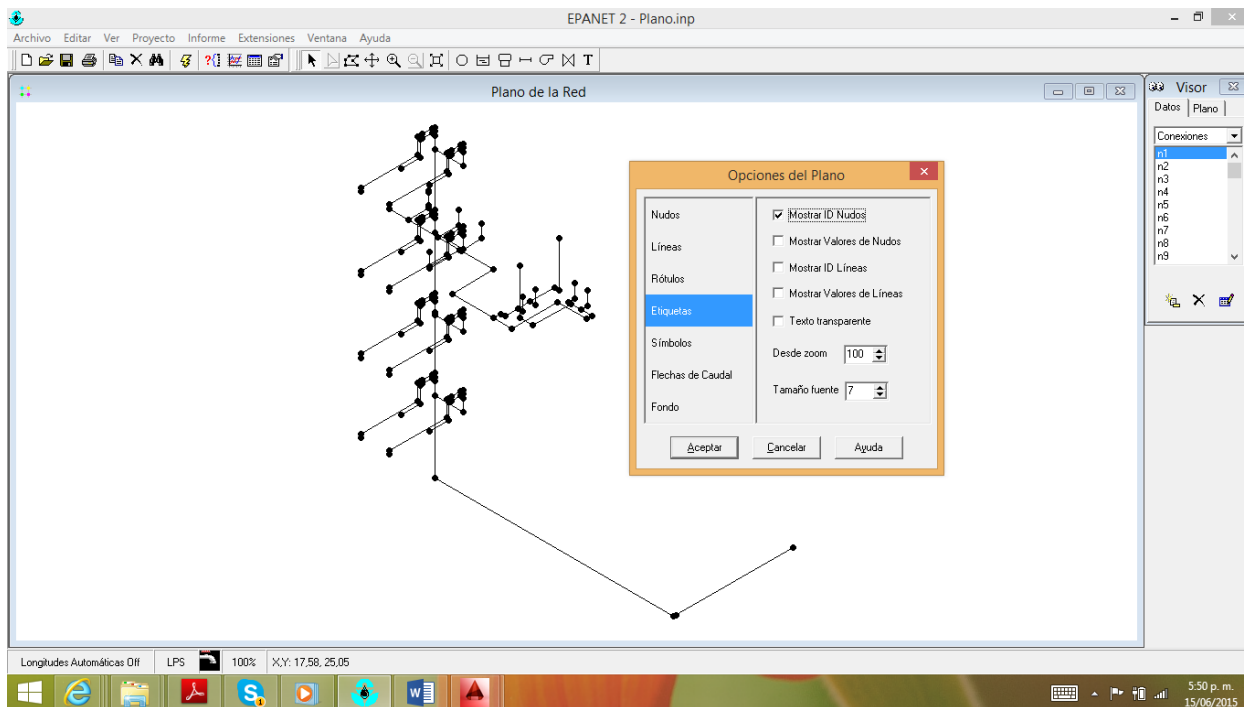
*Ilustración 47.* Ejemplo de isométrico trasladado a Epanet.  
*Fuente:* Epanet.

### **Incorporación de datos en epanet**

Después de trasladar el perfil de AutoCAD a Epanet es necesario verificar que la tubería esté bien trazada, que no se repitan líneas y no existan nodos mal ubicados. Como se mencionó, con este traslado se tiene de forma práctica y fácil el isométrico de la red, con las longitudes de la tubería y las cotas de nivel; sin embargo, se deben incorporar los demás datos requeridos para cada tubería.

Para incorporar los datos es necesario visualizar la numeración de la tubería y los nodos, para lo cual se debe abrir en **Ver>>Opciones>> Etiquetas** y seleccionar los valores que se quieren ver. Para el caso del ejemplo se selecciona **Mostrar ID Nudos**.

Desde el visor ubicado en la parte superior derecha de la ventana de trabajo se tiene acceso directo a los elementos de la red, como conexiones, embalses, depósitos, tuberías, bombas, válvulas, entre otros, sólo es necesario ubicarse en la pestaña **Datos** y en el desplegable seleccionar el elemento requerido.

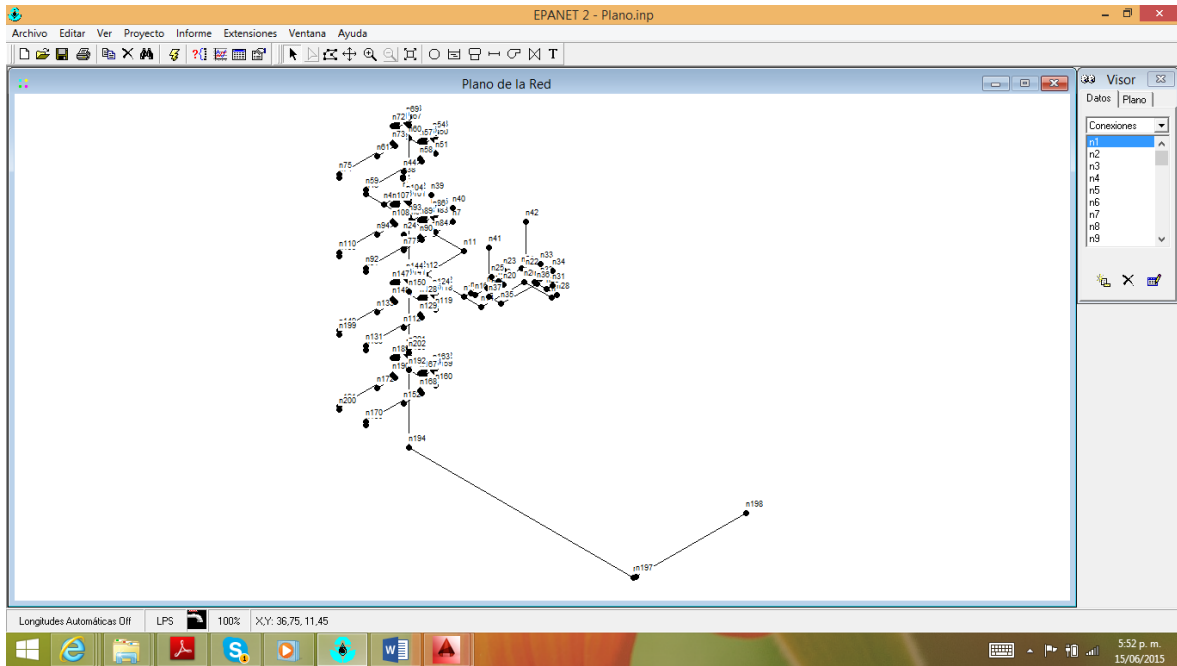


*Ilustración 48.* Diálogo de opciones del plano en Epanet.

*Fuente:* Epanet.

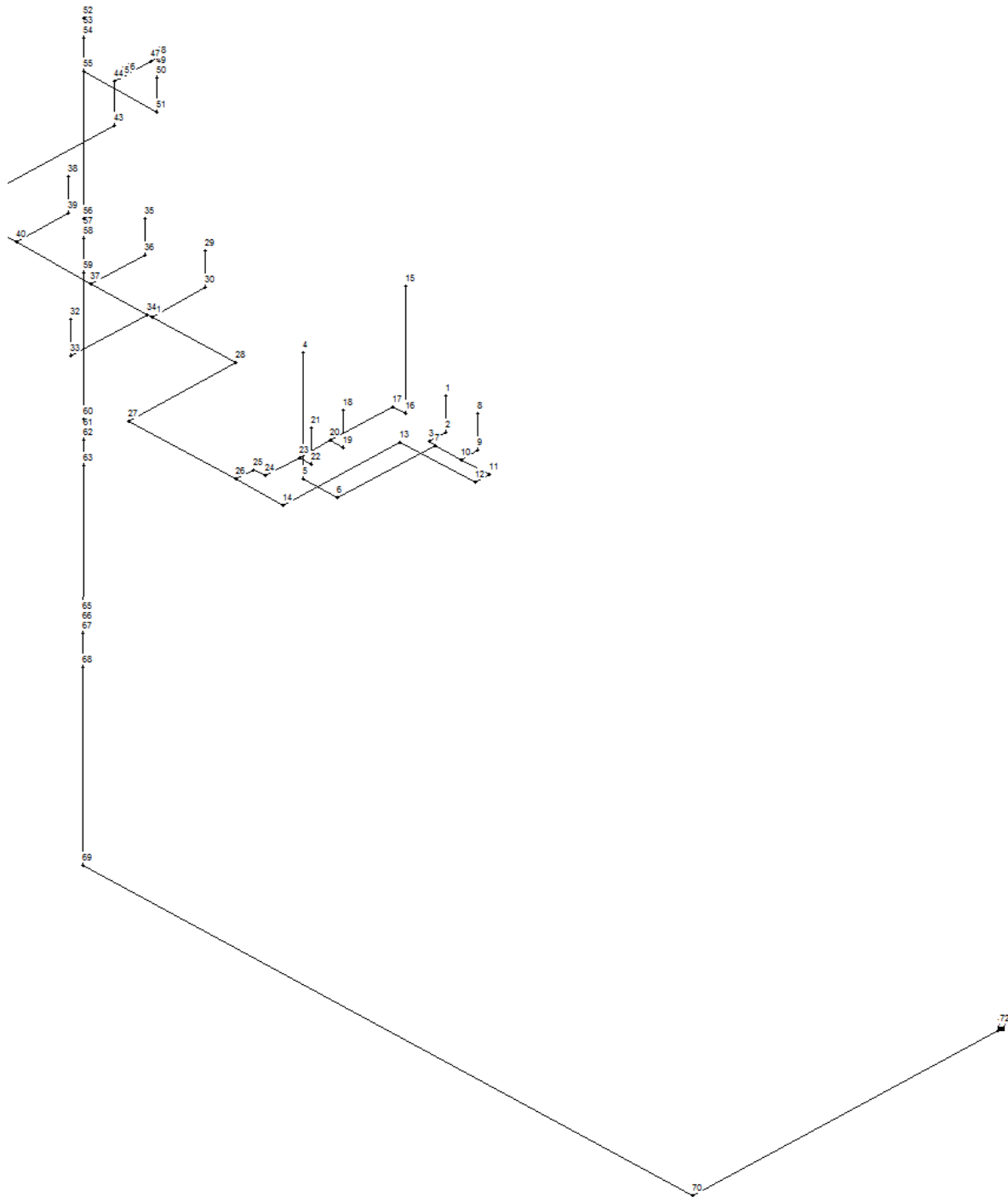
Con esta operación se tiene como resultado la numeración de cada nodo, como se muestra en la ilustración 49.

Según la teoría descrita anteriormente, los datos que se deben incorporar para el cálculo de la red de distribución son los caudales requeridos  $Q_R$ , los caudales máximos probables  $Q_C$ , el diámetro de las tuberías, los accesorios y las válvulas existentes en el sistema y los parámetros de cálculo. Para facilitar la comprensión de este procedimiento se continúa con el isométrico que se viene utilizando, numerado de acuerdo como se muestra en la ilustración 50.



*Ilustración 49.* Esquema del plano con nodos numerados en el programa Epanet.

*Fuente:* Epanet.



*Ilustración 50.* Isométrico con nodos numerados.  
*Fuente:* Epanet.

### **Incorporación de los caudales en Epanet**

Como se explicó en el Capítulo 4, Estimación de caudales, existen dos tipos de caudales que se deben tener presentes en el momento de dimensionar una red de distribución de agua potable: el caudal máximo posible y el caudal máximo probable. Sin embargo, el dato que se debe incorporar en Epanet es el caudal máximo probable en cada tramo; por tal razón, es preciso realizar con anterioridad los cálculos correspondientes para determinarlo. Para esto se requiere definir dos condiciones:

- a) Identificar la red: Para esta identificación se debe determinar el número de tramos, el número de aparatos en cada tramo y la clase de aparatos que se tienen en la red.
- b) Definir el método de cálculo: Para definir el método de cálculo se debe considerar el más propicio, de acuerdo con las características del proyecto y la definición de cada uno de los métodos vistos en el Capítulo 4 de este trabajo. Para el ejemplo que estamos desarrollando se utiliza el método de Hunter modificado para aparatos comunes, aplicando la fórmula  $Q_C = 0,1163 * (U.C.)^{0,6875}$  en cada uno de los apartamentos, y el método de certeza total se aplica al conjunto de todos los apartamentos.

Con estas dos condiciones se puede aplicar el método de cálculo escogido en cada uno de los tramos identificados.

Para facilitar el cálculo de los caudales en cada nodo se recomienda emplear una hoja de cálculo de Excel, como se muestra en la tabla 24.

Para el presente ejemplo se asumen dos condiciones para la hora pico, la primera que los cuatro apartamentos de cada piso no están funcionando simultáneamente aplicando la fórmula de Hunter Modificado para el cálculo del caudal máximo probable; la segunda que los cuatro pisos trabajan simultáneamente aplicando el método de certeza total.

Tabla 24 Cálculo de caudales en cada nodo para introducir a Epanet

Nudo	Tramo	No Aparatos	U.C	$\Sigma$ U.C	Q max	$\Sigma$ Q max	Q max	Q	Q
					probabl e lps	probable lps	posible lps	incorporado nodo lps	tuberí a Lps
<b>Método de hunter modificado</b>									
1	1	1	3	3	0.150	0.150	0.150	0.150	0.15
7									
4	2	2	2	5	0.200	0.350	0.352	0.200	0.20
7									
8	3	3	1	6	0.190	0.540	0.399	0.190	0.19
10								-0.141	
10	4	3							0.40
14									
15	5	1	2	2	0.200	0.200	0.187	0.200	0.20
17									
18	6	3	3	5	0.150	0.350	0.352	0.150	0.15
20									
21	7	4	1	6	0.190	0.540	0.399	0.190	0.19
23								-0.141	
23	8	4							0.40
26									
26	9	7	0	12	0.000	0.000	0.642	-0.156	0.64
28									
29	10	1	2	2	0.150	0.150	0.187	0.187	0.19
31									
31	11	8	0	14			0.714	-0.115	0.71
40									
32	12	1	3	3	0.200	0.200	0.248	0.248	0.25
34									
35	13	1	3	3	0.150	0.150	0.248	0.248	0.25
37									
37	14	2	0	6			0.399	-0.097	0.40
39 a									
38	15	1	2	2	0.200	0.350	0.187	0.200	0.20
39 a									
39 a	16	3	0	8			0.486	-0.113	0.49
40									
40	17	11	0	22			0.974	-0.226	0.97
48									
49	18	20	0	44		0.974	1.568	1.948	1.57
51					-0.380				
52	19	10	0	22			0.974	0.974	0.97
53									

53	20	20	0	44			1.568	0.974	1.57
54								-0.380	
54	21	40	0	88			2.526		2.53
55								-0.610	
<b>METODO DE CERTEZA TOTAL</b>									
59	25	40	0	88			2.374		2.53
60									
61	27	80	0	88			3.562		3.56
63								1.036	
66	30	120	0	88			4.749		4.75
68								1.187	

Fuente: Hoja de cálculo de Excel realizada por el autor.

Si bien es se ha establecido que el  $Q_{\max}$  probable por piso en la hora pico es de 2.53 LPS, en el caso de certeza total se ha asumido que en la hora pico simultáneamente todos los piso solo utilizan un 47% del  $Q_{\max}$ . De acuerdo a la experiencia evitando sobre diseñar la red.

De esta forma se calcula el valor que se debe ingresar en cada nodo, con lo cual cada tramo tendrá un caudal igual al caudal máximo probable.

Conexión n37	
Propiedad	Valor
*ID Conexión	n37
Coordenada-X	32,27
Coordenada-Y	17,44
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	9
Demanda Base	0
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Demanda Actual	No Disponible
Altura Total	No Disponible
Presión	No Disponible
Calidad	No Disponible

Ilustración 51. Propiedades de nodo, programa Epanet.

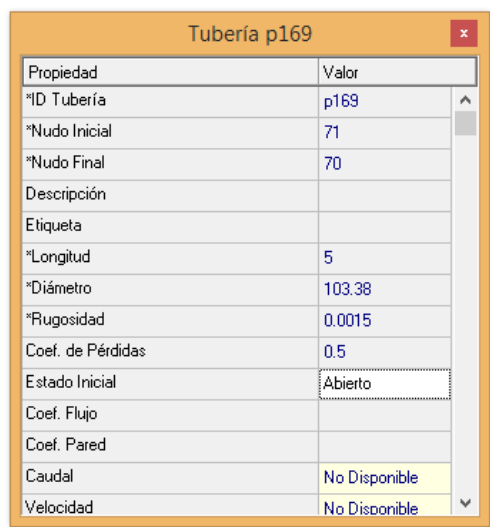
Fuente: Epanet.



Para introducir los caudales en Epanet se da doble clic en el nodo, aparece una ventana de diálogo con las propiedades del nodo seleccionado ‘ID Conexión, Coordenadas X y Y’, cota, etc. Se introduce el valor calculado en el recuadro Demanda base, este valor debe estar representado en lt/sg. Es importante comprobar que la cota concuerde con la ubicación del nodo. Un ejemplo de la ventana de dialogo se muestra en la ilustración 51

### **Diámetro de la tubería, coeficiente de fricción y coeficiente de accesorios**

En general, el diámetro de la tubería, el coeficiente de rugosidad y el factor K para las pérdidas por cambios de dirección (codos, tes, curvas, válvulas) se introducen en Epanet dando doble clic en la tubería correspondiente. Se abre una ventana de diálogo con las propiedades de la tubería, como se muestra en la ilustración 52. En esta tabla es importante revisar el sentido de la tubería, el nodo inicial debe ser desde donde va el flujo y el nodo final hacia donde circula el flujo. Se introducen el diámetro en mm, la rugosidad y el coeficiente de pérdidas.



Propiedad	Valor
*ID Tubería	p169
*Nudo Inicial	71
*Nudo Final	70
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	5
*Diámetro	103.38
*Rugosidad	0.0015
Coef. de Pérdidas	0.5
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible

*Ilustración 52.* Propiedades de la tubería en el programa Epanet.

*Fuente:* Epanet.

Para calcular el diámetro de la tubería, conociendo el caudal en cada tramo, aplicamos la ecuación de continuidad  $Q = V * A$ . Suponiendo un diámetro y verificando que el valor de la velocidad no sobrepase la de diseño, teniendo en cuenta el concepto anteriormente expresado, el

cual indica que el flujo no debe sobrepasar la velocidad máxima de diseño de 2 m/s para tuberías de diámetro inferior a 76,2 mm y de 2,50 m/s para diámetros de 76,2 mm o mayores.

Para este cálculo también se recomienda el uso de una hoja de cálculo en Excel, como la que se muestra en la tabla 25.

Tabla 25 Diámetro de tuberías vs. Velocidad de diseño

Nudo	Tramo	No Aparatos	Q Tubería	Ø ext	Ø int	Velocidad
			lps	pulg	mm	mt/sg
1	1	1	0.15	0.50	16.51	0.70
7						
4	2	2	0.20	0.50	16.51	0.94
7						
8	3	3	0.19	0.50	16.51	0.89
10						
10	4	3	0.40	0.50	16.51	1.86
14						
15	5	1	0.20	0.50	16.51	0.93
17						
18	6	2	0.15	0.50	16.51	0.70
20						
21	7	3	0.19	0.50	16.51	0.89
23						
23	8	3	0.40	0.50	16.51	1.86
26						
26	9	6	0.64	0.75	21.84	1.71
28						
29	10	1	0.19	0.50	16.51	0.87
31						
31	11	7	0.71	0.75	21.84	1.91
40						
32	12	1	0.25	0.50	16.51	1.16
34						
35	13	1	0.25	0.50	16.51	1.16
37						
37	14	2	0.40	0.75	21.844	1.065
39 a						
38	15	1	0.20	0.50	16.51	0.93
39 a						
39 a	16	3	0.49	0.75	21.844	1.297
40						
40	17	10	0.97	1.00	28.45	1.53
48						

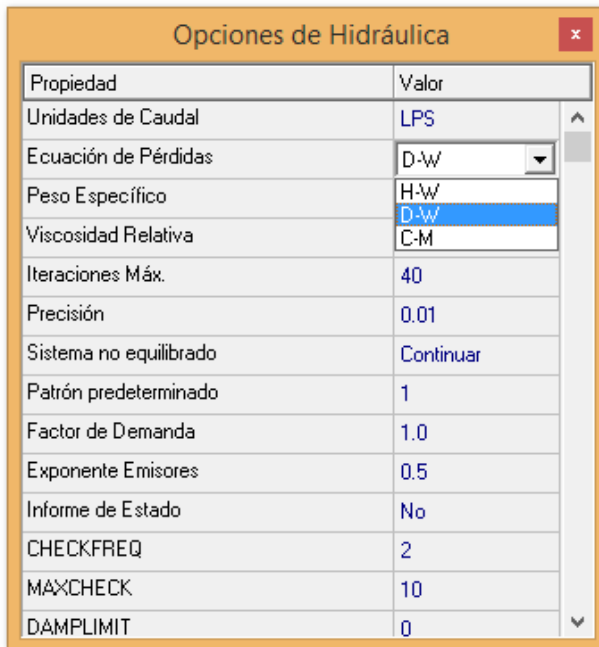
49	18	20	1.57	1.25	38.100	1.375
51						
52	19	10	0.97	1.00	28.448	1.532
53						
53	20	20	1.57	1.250	38.100	1.375
54						
54	21	40	2.53	1.50	43.69	1.69
55						
59	25	80	1.19	2.50	43.69	1.69
60						
61	27	120	2.37	3.00	54.61	1.52
63						
66	30	160	3.56	3.00	54.61	2.03
68						

*Fuente:* Hoja de cálculo de Excel realizada por el autor.

Con la tabla anterior se obtienen los diámetros de la tubería en cada tramo.




Para calcular las pérdidas por fricción se debe escoger la ecuación con la cual se quiere trabajar. El programa de Epanet contempla tres ecuaciones: Darcy-Weisbach, D-W; Hazen-Williams, H-W, y Chezy-Manning, C-M. En el panel principal se abre **Proyecto>>Opciones de cálculo**, aparece la ventana Opciones de Hidráulica, como se muestra en la ilustración 53, donde se puede establecer la ecuación de pérdidas. Allí también se pueden modificar las unidades de cálculo, el peso específico, la viscosidad relativa (se debe modificar si la tubería transporta un líquido diferente al agua), el número de iteraciones, la precisión del cálculo, etc.

. Una vez seleccionada la ecuación para el cálculo de las pérdidas, se deben introducir en la ventana de propiedades de cada tubería, adicional al diámetro, dos valores: el coeficiente de rugosidad, según el material y el modelo de cálculo contemplado de acuerdo a las tablas 16 y 17. Y el coeficiente de pérdida del accesorio, de acuerdo con la tabla 18, que aparecen en el Capítulo 4 de este trabajo



*Ilustración 53.* Ventana Opciones de Hidráulica, programa Epanet.  
*Fuente:* Epanet.

### **.Condiciones en el inicio de la red de distribución**

Otro parámetro que se debe considerar en Epanet para el cálculo de una red de distribución es cómo se va alimentar esta red. El programa tiene varias alternativas, las cuales pueden ser un embalse,  un depósito,  o una bomba.  En cualquiera de las condiciones que se elija lo más importante es referenciar la altura o cota piezométrica que se tiene en este punto, de acuerdo con las características de cada proyecto, de tal manera que al correr el programa se identifique fácilmente en el punto más alejado de la red si las pérdidas han sido tan considerables que se presentan presiones negativas.

Para efectos del ejemplo se tomará un embalse, que representa el tanque de almacenamiento desde el cual se va a alimentar la red de distribución. El objetivo principal de la modelación en Epanet es calcular la altura de la cabeza de presión y la altura equivalente a las pérdidas por fricción y localizadas, valores empleados para el cálculo del equipo de bombeo

Para seleccionar un embalse, en el panel principal de Epanet se señala el icono correspondiente y con el cursor se ubica en el nodo inicial de la red. Posteriormente, en la ventana de diálogo del embalse (dar doble clic sobre el embalse) se digita la altura supuesta, que para el ejemplo será de -3 mt, considerando que es el nivel donde se encuentran ubicadas las bombas, y que en el tanque de almacenamiento se pierde la altura piezometrica que llega de la red principal del acueducto.

### Modelado de la red de distribución en Epanet

Durante el proceso de formulación de la red que se va a modelar es posible revisar los datos incorporados, observando en el visor ubicado en la parte superior derecha de la ventana de trabajo. Sólo es necesario ubicarse en la pestaña **Plano** y en las pestañas desplegadas de **Nudos** o **Líneas**, se selecciona el dato que se quiere ver, como se muestra en la ilustración 54.

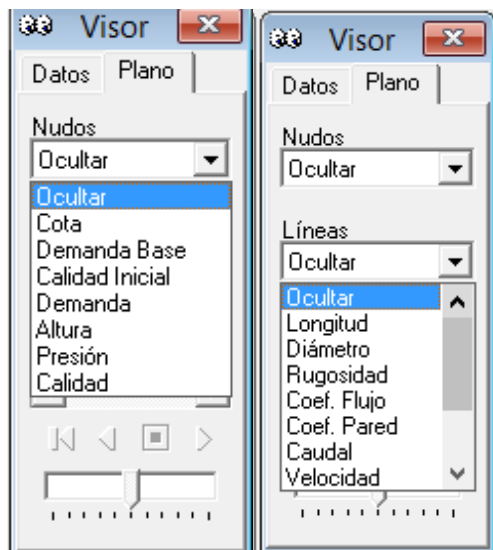



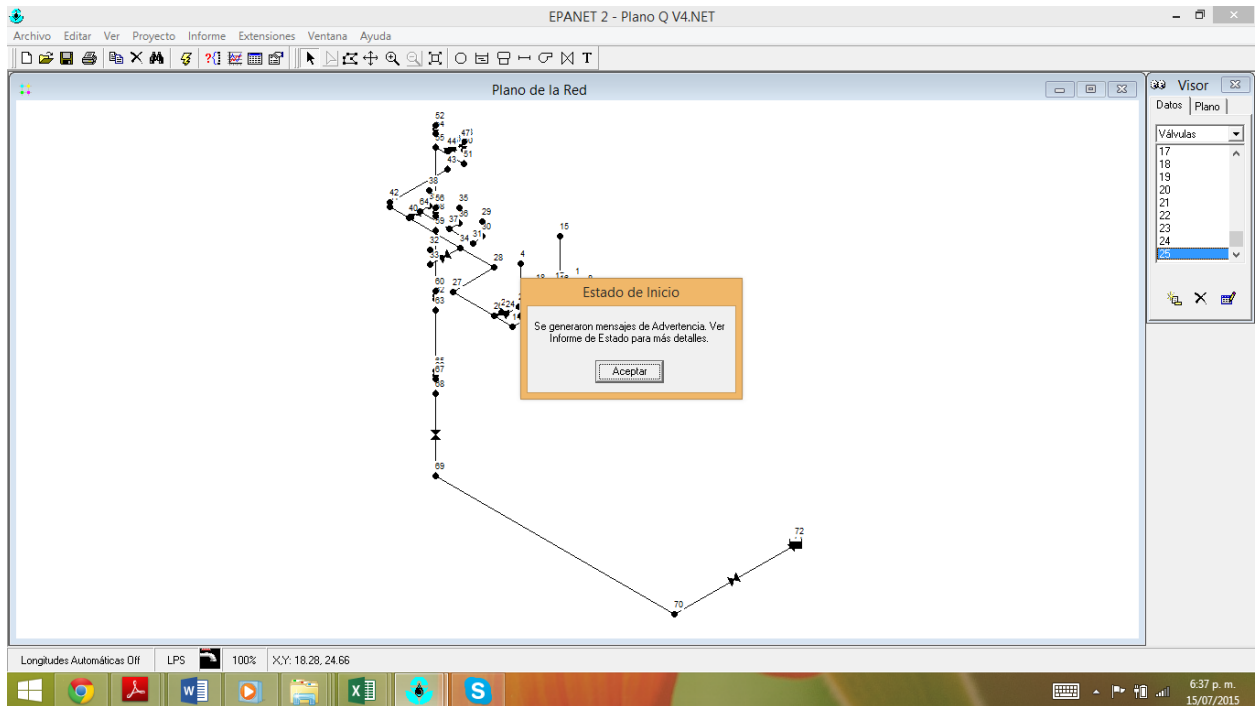
Ilustración 54. Ventana Visor programa Epanet.

Fuente: Epanet.

Automáticamente aparece una ventana en la parte superior izquierda, referenciando el dato escogido en escala de colores, que de igual forma se verá reflejado en el plano. Es importante aclarar que algunos de estos datos no estarán disponibles antes de correr el programa.

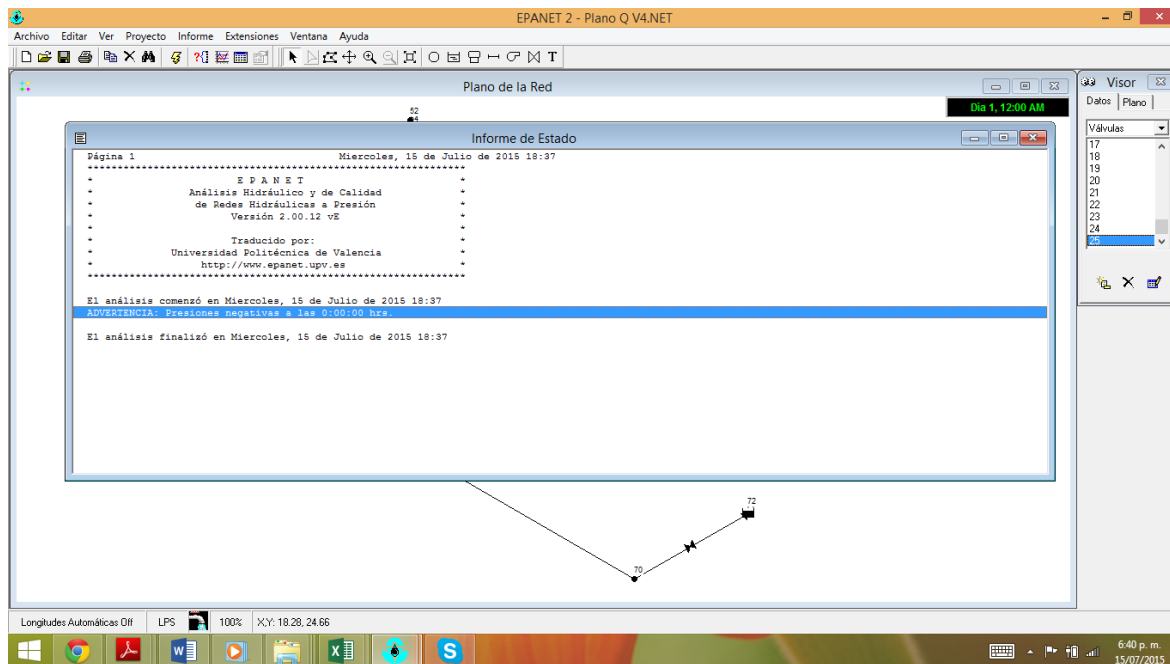
Una vez incorporados los datos necesarios para la modelación de la red de distribución se procede a correr el programa, de la siguiente manera:

Para la simulación, en el panel principal se puede ir a **Proyecto>>Calcular** o con el icono correspondiente.  Aparece un mensaje de advertencia, se da aceptar para ver el informe de estado (ilustración55).



*Ilustración 55.* Mensaje de estado de inicio de la simulación hidráulica, programa Epanet.  
*Fuente:* Epanet.

El informe de estado del ejemplo indica que existen presiones negativas a las 0:00 horas, es decir, no está llegando suministro al punto de consumo. Condición que se había previsto, por la cual se debe realizar una segunda modelación o las que se requieran (ilustración 56).



*Ilustración 56.* Informe de estado, simulación hidráulica, programa Epanet.

*Fuente:* Epanet.

### **Análisis de resultados**

Posterior a correr el esquema de la red de distribución en el programa Epanet se puede obtener gran cantidad de información, estos resultados se pueden observar de forma esquemática sobre el plano, con tablas de datos o gráficos. Como se muestra a continuación:

#### **Resultados en plano de la red**

Como se explicó anteriormente de la misma forma que se pueden verificar los datos incorporados se pueden ver los resultados de la modelación, en la ventana superior derecha

#### **Visor >> Plano.**

En los anexos 1 al 8 se presentan los planos de la red más relevantes:

#### ***Cota (Anexo 1).***

En el plano COTA se puede ver la altura de cada punto que se va a suministrar desde el nivel referenciado como 0. Esta COTA puede ser positiva o negativa, dependiendo del nivel de la edificación que se haya tomado como 0. Esta información básicamente se utiliza para revisar

que se hayan incorporado de forma correcta los datos y que todos los aparatos estén en el nivel correspondiente al diseño.

***Demanda base (Anexo 2).***

En el plano DEMANDA BASE se pueden ver los caudales incorporados en cada nudo. Esta información sirve básicamente para revisar que los datos se incorporaron de forma correcta.

***Altura (Anexo 3).***

En el plano ALTURA se obtiene uno de los datos más importantes para el cálculo y el diseño, porque muestra la altura que representan las pérdidas por fricción y las locales que se tienen en cada tramo de la red. Se puede observar que en el punto más alto y más alejado de la red, es decir, el punto crítico ID No. 4, se tiene una altura total de -11,49 metros, que es uno de los valores con los que se diseña el sistema de presión.

***Presión (Anexo 4).***

El plano PRESIÓN contiene otro dato importante para el cálculo y el diseño, muestra la presión que se tiene en cada nudo de la red si el valor es positivo, o la presión que falta en el nudo para su correcto funcionamiento si el valor es negativo, es decir, en el caso del ejemplo se puede observar que en el punto inicial de la red la presión requerida es nula (cero), debido a que en este punto no hay demanda de consumo, pero si se recorre la red hacia el punto más alejado se puede observar que el déficit de presión aumenta como consecuencia de las demandas de consumo. Entonces, se puede observar que en el punto más alto y más alejado de la red, es decir, el punto crítico ID No. 4, se tiene un déficit de presión total de 22,39 metros en columna de agua, que es uno de los valores que se emplea para diseñar el sistema de presión.



### ***Longitud (Anexo 5)***

En el plano LONGITUD se ajustaron los rangos en 1, 2, 4 y 6 m, de esta forma se pueden visualizar en color azul las tuberías de longitud menores a 1 m, en cian las tuberías entre 1 y 2 m, en verde las tuberías entre 2 y 4 m, en color amarillo las tuberías entre 6 y 8 m y en color rojo las tuberías entre 4 y 6 m

### ***Diámetro (Anexo 6).***

En el plano DIÁMETRO se ajustaron los rangos en 20, 30, 50 y 100 mm, de esta forma los diámetros de las tuberías se pueden visualizar de la siguiente manera: en color azul los menores a 20 mm, que para el ejemplo tienen una tubería de 16,51 (1/2"); en cian los diámetros menores a 30 mm, que para este caso tienen una tubería de 21,84 mm (3/4") y 28,45 mm (1"); en color verde los diámetros menores a 50 mm, que para el ejemplo tienen una tubería de 38,1 mm (1 1/4") y 54,61 (2"); en amarillo los diámetros menores a 100 mm, que para el caso que nos ocupa tienen una tubería de 80,54 mm (3"), y en rojo los diámetros mayores a 100 mm, que para el caso del ejemplo tienen tubería de 103,38 mm (4").

### ***Caudal (Anexo 7).***


En el plano CAUDAL se ajustaron los rangos en 1, 2, 3 y 4 LPS, de esta forma las caudales menores a 1 LPS se pueden visualizar en color azul, en cian los caudales entre 1 y 2 LPS, en color verde los caudales entre 2 y 3 LPS y en amarillo los caudales entre 3 y 4 LPS.

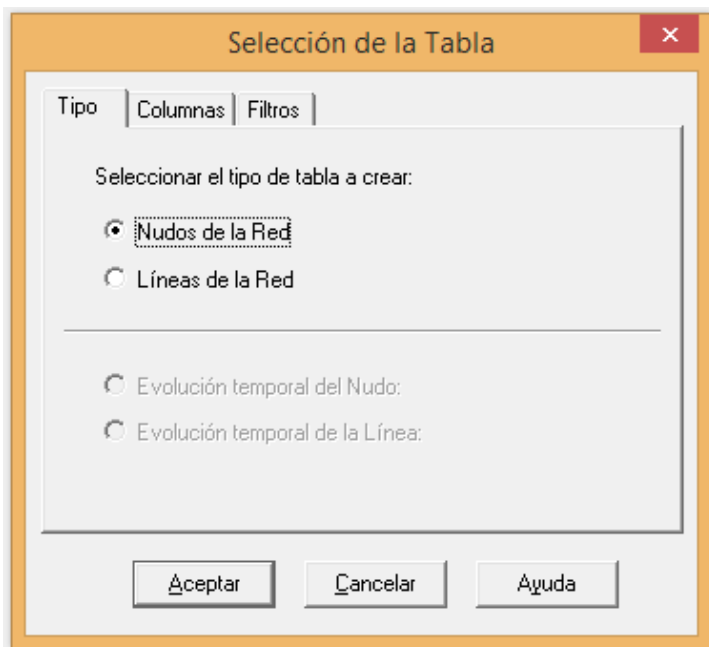
### ***Velocidad (Anexo 8)***

En el plano VELOCIDAD se ajustaron los rangos en 0,01, 0,10, 1,0 y 2,0 m/s, de esta forma las velocidades menores a 0,01 m/s se pueden visualizar en color azul, en cian las velocidades entre 0,01 y 0,10 m/s, en color verde las velocidades entre 0,10 y 1,0 m/s y en amarillo las velocidades entre 1,0 y 2,0 m/s. Si llegaren a existir velocidades superiores a 2,0 m/s

se visualizarán en color rojo. Este plano también ayuda a comprobar que la velocidad en la red esté dentro de los parámetros que exige la norma.

### Resultados en tabla de datos

Los resultados de la modelación se pueden visualizar de dos formas en el menú principal: Informe>>>**Tablas** o desde el ícono tablas,  donde aparece la ventana de diálogo Selección de tabla y en la pestaña tipo hay dos alternativas: Nudos de la red o Líneas de la red. En la pestaña Columnas se pueden seleccionar los datos que queremos que aparezcan. En la pestaña filtro se puede filtrar el dato indicado con los parámetros menor, igual o mayor que (ilustración 57).



*Ilustración 57.* Ventana Selección de la tabla, programa Epanet.  
*Fuente:* Epanet.

En el Anexo 9 se presentan los resultados Tabla de red- Nudos, con la cota, demanda y presión en cada nudo de la red. Así mismo, se puede observar que en el nudo No. 4 (punto crítico de la red) la presión necesaria de funcionamiento es de 22,39 m.

En el Anexo 10 se presentan los resultados Tabla de red- Líneas, con la longitud, diámetro, caudal, velocidad, pérdidas unitarias y factor de fricción en cada tramo de la red.

## Resultados gráficos


Los resultados de la modelación se pueden ver en el menú principal de dos formas: **Informe>>Gráficos** o desde el ícono gráficos,  donde aparece la ventana de diálogo “Selección del grafico”, en la que se puede crear el tipo de gráfico que se requiera, con curvas de evolución, perfiles longitudinales, mapas de contorno, entre otros, de todas las magnitudes evaluadas, como se muestra en la ilustración 58.



Ilustración 58. Ventana Selección del gráfico, programa Epanet.  
Fuente: Epanet.

### Ejemplo de diseño del sistema de suministro

Teniendo en cuenta las generalidades, la normatividad y los conceptos teóricos y conceptuales descritos en los capítulos anteriores a continuación se presenta un ejemplo del diseño del sistema de suministro para una red de distribución, con base en los resultados obtenidos en el diseño de la red del capítulo 6 del presente trabajo.

#### Cálculo de la acometida

La acometida debe ser aprobada por la empresa prestadora del servicio de acueducto y alcantarillado, que además debe suministrar los respectivos medidores.

#### *Calculo volumen almacenamiento*

Datos			Unidades	Observaciones
UNIDADES HABITACIONALES	=	16	Apts	
NUMERO DE PERSONAS POR UNIDAD	=	4	Personas	Promedio según experiencia de diferentes autores
TOTAL NUMERO DE PERSONAS $N_{personas}$	=	64		Unidades habitacionales por el número de personas
CONSUMO PROMEDIO DIARIO	=	200	Lts/Pers/dia	Tabla No12 Evaluación de consumo según el uso
CONSUMO TOTAL DIARIO	=	12800	Lts	Número de personas por consumo promedio diario
VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO $V_{alm}$	=	12.8	$m^3$	

**Calculo diametro**

Datos				Unidades	Observaciones
TIEMPO DE LLENADO HORAS=	8	=	28800	seg	Según NTC 1500 Tiempo de llenado no debe ser mayor a 12 horas
CAUDAL	$Q = V/T$	=	0.44	Lts/s	
LONGITUD ACOMETIDA		=	15.4	mt	< a 20 mt según NS-024

• La velocidad máxima de diseño debe ser de 2 m/s para tubería de diámetro inferior a 76,2 mm; para diámetros de

76,2 mm o mayores, la velocidad máxima debe ser de 2,50 m/s. Según Norma NTC 1500

$$V = \frac{Q * 4}{\pi * D^2}$$

Se supone un diametro y se verifica que la velocidad no sea superior a la permitida

Datos				Unidades	Observaciones	
CAUDAL=	Q=	0.44		Lts/s		
DIAMETRO	D=	0.75		pulg		
DIAMETRO INTERNO	D <sub>i</sub> =	2.363		cm		
V Max=	2	>	V <sub>Cal</sub> =	1.01	mt/s	CUMPLE

**Calculo De Perdidas**

$$Re = \frac{\rho_s D}{\nu}$$

$$f = \frac{64}{Re}$$

$$h_f = \frac{8f Q^2}{g D^5 \pi^2}$$

VELOCIDAD DEL FLUJO	V <sub>Cal</sub> =	1.01	mt/s	
DIAMETRO	D=	0.02363	mt	
VISCOSIDAD CINEMATICA	$\nu$ =	1.0011E-06	mt <sup>2</sup> /s	A temperatura ambiente 20°C
COEFICIENTE DE FRICCIÓN	f=	0.027		
PERDIDAS POR FRICCIÓN	hf=	0.0595		Por metro de tubería

• Se calculan las perdidas y se verifica que sean menores a la presión disponible por la empresa que suministra el servicio

hf= 0.916 < 14 m.c.a OK

## Cálculo del tanque de almacenamiento

### *Dimensionamiento del tanque de almacenamiento*

Luego de haber obtenido el volumen total del tanque se debe hacer predimensionamiento, el cual depende de consideraciones de tipo económico, de funcionabilidad, área disponible para su construcción y condiciones de mantenimiento:

\_ A mayor profundidad, mayor será el costo de los muros perimetrales y menor será el costo de la placa de fondo.

\_ A mayor longitud de los muros perimetrales mayor será el refuerzo requerido.

\_ Se debe garantizar que  $NPSH_d > NPSH_r$ , para esto se recomienda que la altura útil este entre 1.8mt y 2mt

\_ El área más óptima de funcionamiento es la cuadrada por lo tanto se recomienda que a y b sean de dimensiones iguales

\_ Se debe verificar el área disponible para su ubicación.

\_ El tanque debe ser suficientemente alto para permitir a una persona realizar las labores de mantenimiento de forma cómoda.

$$V_{alm} = a * b (H_u + 0.20)$$

Datos			Unidades	Observaciones
VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO $V_{alm} =$	=	12.8	m <sup>3</sup>	
ALTURA UTIL (Suponemos una altura util)	=	1.9	m	
ÁREA (a*b)	=	6.10	m <sup>2</sup>	
a y b	=	2.5	m	

**Tubería de succión**

$$d = 1.1284 \sqrt{\frac{Q}{V}}$$

DATOS			Unidades	OBSERVACIONES
CAUDAL CALCULADO $Q_{cal}$	=	0.0048	m3/seg	Caudal calculado tabla No 24
VELOCIDAD	=	2.5	m/seg	La velocidad maxima permitida por la Norma
DIAMETRO d	=	4.9186	cm	
D COMERCIAL	=	2	pulg	

**Tubería de impulsión**

$$D = K \sqrt{Q}$$

DATOS			UNIDADES	OBSERVACIONES
CAUDAL CALCULADO $Q_{cal}$	=	0.0048	m3/seg	
K	=	1.0	Adimensional	Formula de Bresse K entre .9 y 4
DIAMETRO d	=	6.8920	Cm	
D COMERCIAL	=	3	pulg	

**Volumen útil del tanque hidroacumulador**

Formula	Datos		Unidades	Observaciones
$A = \frac{15Q_b}{N_c}$	$Q_b$	= 4.75	Lt/sg	
	$N_c$	= 25	ciclos	
	A	= 2.85	Lt/sg	
$T = \frac{4A}{Q_b}$	T	= 2.4	min	
$V = \frac{15Q_b P_1}{KN_c(P_1 - P_2)}$	$Q_b$	= 285.00	Lt/min	
	Z	= 13.90	mt	
	Pérdidas	= 11.49	mt	Resultado EPANET
	$P_s$	= 0.00	mt	Presión admosferica relativa
	$P_2$	= 22.39	m.c.a	Resultado EPANET
	$P_2$	= 2.17	atm	Según capitulo 5.3.3. Volumen util y Volumen total del Hidroacumulador
	$P_1$	= 3.67	atm	
k	= 0.8			
$N_c$	= 25	ciclos		
$P_1 = P_2 + 1.5 atm$	V	= 523.24	Lt	

## Cálculo del sistema de bombeo

### *Sistema hidroneumático*

Formula	Datos			Unidades	Observaciones
$HP = \frac{Q_b H}{75\eta}$	Q <sub>b</sub>	=	4.75	Lt/sg	
	H	=	22.39	mt	
	n	=	0.70	mt	
	HP	=	2.00		



## Conclusiones Y Recomendaciones

1. Se han tenido en cuenta los componentes necesarios para desarrollar el diseño de la red de suministro para una edificación, que consideré la normatividad, aspectos teóricos, herramientas informáticas y criterios de diseño.

2. Se deduce que para el diseño de redes de suministro de agua en edificaciones la normatividad vigente en el ámbito nacional (NTC 1500) es básica en cuanto a especificaciones particulares, como tipos de edificación, tipos de suministro, equipos de bombeo, tipos de registro, tipos de tubería, acometidas, tanques de almacenamiento, trazado de la red, entre otros. De ahí que gran parte del diseño esté determinado por las empresas de servicios de cada ciudad, por la experiencia de diversos autores, por las especificaciones de los proveedores y, en algunos casos, por la Norma RAS-2000. Se propone una actualización de la Norma NTC 1500, recopilando parámetros admisibles para el diseño de elementos como acometidas, tanques de almacenamiento, sistemas de bombeo, tanque hidroacumulador, además de conceptos como tipos de edificaciones, tipos de abastecimiento actuales y todo lo inherente al trazado de la red.

3. El trazado de la red de distribución es un paso muy importante durante el diseño, y un buen planteamiento garantiza su funcionabilidad, la disminución de costos y la eficiencia en la red. Cabe resaltar que se encontró muy poca bibliografía sobre este tema.

4. El uso de herramientas informáticas como AutoCAD, Epanet, EpaCad y Excel son muy útiles en el desarrollo de grandes proyectos, donde se requiere verificar diferentes alternativas de trabajo de la red. Por ejemplo, Epanet ofrece la posibilidad de realizar

infinidad de modificaciones en la red y obtener resultados rápidos y fáciles de comparar, logrando determinar la opción más viable, económica y funcional.

5. Es importante resaltar de acuerdo a la literatura consultada que no existe una entidad estatal o privada que revise, corrija y apruebe los planos y diseños de las redes de abasto de las edificaciones. En general las empresas prestadoras del servicio de agua sólo se encarga de revisar y aprobar la acometida que va desde la red principal hasta los medidores. Para este trámite solicitan los diseños internos solamente como soporte del caudal requerido. Sería conveniente que una entidad oficial diera el aval a este tipo de diseños.

6. Este trabajo fue gratificante al lograr consolidar los conocimientos necesarios para realizar un Diseño de la red de suministro en una edificación de acuerdo a la literatura consultada, de igual forma el explicar el uso de herramientas informáticas que proporcionan una opción adicional para el cálculo de dicha red, convirtiéndose en un material útil e innovador.

## Bibliografía

(s.f.).

... (s.f.).

*A&L Industries Peru S.R.L.* (s.f.). Obtenido de <http://al-industriesperu.com/presion.html>

A.n. (2013). *www.destaqueodetuberias.com*. Obtenido de <http://www.destaqueodetuberias.com/?p=117>

A.N. (2015). *WWW.definicion.de*. Obtenido de <http://definicion.de/pvc/>

Anonimo. (Agosto de 2014). Empresa Tripe A presentó en Barranquilla la 'Guía del constructor'. *EL UNIVERSAL*.

Anonimo. (n.d.). *Acueducto de Bogotá*. Obtenido de <http://www.acueducto.com.co>

Anonimo. (n.d.). *Rebellion.org*. Obtenido de <http://www.rebellion.org/docs/133937.pdf>

Argueta Méndez, E. A. (2011). *Trabajo de grado Implementación de sistemas hidroneumáticos residenciales, ventajas y desventajas*. Guatemala: Universidad de San carlos de Guatemala.

Astudillo G, J. (n.d.). *Universidad Católica de Cuenca*. Obtenido de <http://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/reducacue/5516/1/ASTUDILLO%20G.%20JUAN%20C..pdf>

Astudillo Guillén, J. C. (2013). *Análisis de métodos empleados en el cálculo de un sistema hidráulico en edificios*. Universidad Católica de Cuenca.

Banco de la Republica Cultural. (Marzo de 2012). *Banco de la Republica Cultural*. Obtenido de <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/revistas/credencial/marzo2012/acueducto-bogota-publico-privado>

Biswas, A. K. (1970). *History of hydrology*. Amsterdam&London: North Holland Publishing Company.

Bonnin, J. (1984). *L'eau dans l'antiquité*. París: Eyrolles.

Carrera, J. M. (21/04/2009). *Agua Potable*. Viña del Mar Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.

Castro Ladino, N. Y., Garzón Garzón, J. E., & Ortiz Mosquera, R. (5 al 7 de Junio de 2006). Aplicación De Los Métodos Para El Cálculo De Caudales Máximos Probables Instantáneos, En Edificaciones De Diferente Tipo. *Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua*.

Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HS-4 Salubridad. (n.d.). En Gobierno de España, & Ministerio de Fomento. Madrid, España.

*Comercial, Fundación, y Elementos de Construcción*. (n.d.). Obtenido de <http://www.fundicionductilmolina.com/CFEC/contacto.htm>

- Cuervo, L. M. (1992). *De la vela al apagón. 100 años de servicio eléctrico en Colombia*. CINEP, Plan de Agua 1995-1998, Documento Conpes 2767, marzo de 1995.
- de Wekker V, J. W. (Junio 2004). *SISTEMAS DE BOMBEO Características y Dimensionamiento.*, (págs. 5-5). Caracas.
- Díaz Sosa, J., & Luna Rojas, F. (1991). *Instalaciones Hidráulicas y sanitarias en Edificios*. Mexico D.F.
- Durman. (Febrero de 2012). <http://www.durman.com.co/>. Obtenido de <http://www.durman.com.co/pdf/Ficha%20Tec%20CPVC%20FlowGuard%20Gold.pdf>
- Emcali. (2014). *NORMA TÉCNICA DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE CRITERIOS DE DISEÑO PARA REDES DE ACUEDUCTO*. Cali: GUENA – EMCALI EICE ESP.
- Empresas Públicas de Medellín, . (Segunda Edición 2013). *Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de las Empresas Públicas de Medellín E. S. P.* Medellín/Colombia.
- Frías, M. G., & Alfaro, S. R. (6 ed. 2011.). *APA. Manual de publicaciones de la American Psychological Association /*.
- Garzón Orduña, A. J. (2014). *Evaluación Patrones de Consumo y Caudales Máximos Instantáneos de Usuarios Residenciales de la Ciudad de Bogotá*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Granados, J. (2002). *Redes Hidraulicas y Sanitarias en Edificios*. Bogotá, colombia: Unibiblos.
- Ideam. (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010*. Bogotá.
- Israel Fainboim Yaker, C. J. (Marzo 2000). *EL DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA EN COLOMBIA EN LA DÉCADA DE LOS NOVENTA Parte II*.
- Kroenke, D., & Auer, D. (2009). *Database Concepts*. New Jersey: Prentice Hall.
- LeMoal, R. (1992). *Les droits sur l'eau*. Nantes (Francia): Ademart.
- Louis S, N. (1965). *Diseño estandar en Plomería* .
- Maneglier, H. (1991). *Histoire de l'eau*. París: Francois Bourin.
- Melguizo Bermúdez, S. (1980). *Fundamentos de Hidraulica e Instalaciones de Abasto en las Edificaciones Tomo II*. Medellin, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Miliarium.com. (2001, 2008). *Miliarium.com Ingenieria Civil y Medio Ambiente*. Obtenido de <http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.asp>
- Ministerio de Desarrollo Económico. (Noviembre 2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Basico*. Bogota DC: MinDesarrollo.
- Nieto Palomo, J. (n.d.). *Instalaciones de Fontanería Teoría y Orientaciones Prácticas*. Ediciones Paraninfo.
- Organización Panamericana de la Salud. (1966). *Bombas Para Agua Potable*. Washington, D.C.

- Pancorbo, F. J. (2011). *La Simultaneidad en los Consumos de Agua en las Instalaciones*. Cataluña, España: Corbera de Llobregat.
- Rodriguez Avial, M. (n.d). *Instalaciones sanitarias para edificios*. Plaza de Santa Ana, Madrid: Quinta Edición. Ed. Dossat. S.A.
- Rodríguez Díaz, H. A. (Mayo de 2005). Diseños Hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones. En H. A. Rodríguez Díaz, *Diseños Hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones* (pág. 89). Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero Martínez , A. (s.f.). *Dibujo de proyectos de obras civiles*. Innovación Tecnológica.
- Saldarriaga V, J. G. (1998). *Hidráulica de Tuberías*. Santafé de Bogotá, D.C, Colombia: McGRAW\_HILL INTERAMERICANA, S.A. .
- Stair, R., & Reynolds, G. (2001). *Principles of Information Systems*. Boston: Course Technology.
- UNESCO-SANTIAGO. (julio 1999). *Guía No. 2 Mantenimiento de instalaciones sanitarias*. Santiago de Chile.
- Universidad de San Carlos de Guatemala. (febreo de 2011). *Implementación de sistemas hidroneumáticos residenciales, ventajas y desventajas*. Guatemala.
- Valencia, I. U. (2015). *EpaCAD*. Obtenido de <http://www.epacad.com/caracteristicas-es.php>
- Villavicencio, E. d. (Octubre 2003). *Manual Tecnico Para Constructores y Urbanistas* . Villavicencio: EAAV ESP.
- Wikipedia. (5 de enero de 2014). *Wikipedia La enciclopedia libre*. Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/Epanet>