



**ESCUELA  
COLOMBIANA  
DE INGENIERÍA  
JULIO GARAVITO**

**ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIOAMBIENTE**

**CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN DE LA RED HIDRÁULICA DE UNA  
EDIFICACIÓN**

**Presentado por:**

**ING. JUAN SEBASTIÁN SÁNCHEZ HERRERA**

**Director:**

**ING. HECTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ**

**BOGOTÁ, D.C.**

**2019**



**ESCUELA  
COLOMBIANA  
DE INGENIERÍA  
JULIO GARAVITO**

**CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN DE LA RED HIDRÁULICA DE UNA  
EDIFICACIÓN**

**Presentado por:**

**ING. JUAN SEBASTIÁN SÁNCHEZ HERRERA**

**Director:**

**ING. HECTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ**

**NOTA DE ACEPTACION**

El trabajo de grado “CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN DE LA RED HIDRÁULICA DE UNA EDIFICACIÓN”, presentado por Juan Sebastián Sánchez Herrera en cumplimiento con el requisito parcial para optar al título de Especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente, fue aprobado por el director Héctor Alfonso Rodríguez Díaz.

**Nota:** \_\_\_\_\_

**Firma Director:** \_\_\_\_\_

**BOGOTÁ, D.C.**

**2019**

## Tabla de contenido

<b>1.</b>	LISTA DE ILUSTRACIONES .....	2
<b>2.</b>	INTRODUCCION .....	4
<b>3.</b>	NORMATIVIDAD PARA EL DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE PARA EDIFICACIONES .....	4
<b>4.</b>	ANTECEDENTES .....	6
<b>5.</b>	PROPIEDADES DEL AGUA .....	17
<b>6.</b>	ECUACIONES FUNDAMENTALES.....	17
<b>7.</b>	TIPOS DE REDES.....	21
<b>8.</b>	APARATOS SANITARIOS.....	22
<b>9.</b>	MATERIALES .....	27
<b>10.</b>	CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LA RED HIDRAULICA PARA EDIFICACIONES	
<b>A.</b>	TIPOS DE EDIFICACION.....	33
<b>B.</b>	TRAZADO DE LA RED .....	35
<b>C.</b>	ESTIMACION DE CAUDALES .....	38
<b>D.</b>	PASOS PARA EL DISEÑO .....	42
<b>E.</b>	EJEMPLO DE DISEÑO.....	44
<b>F.</b>	CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	51
<b>G.</b>	EJEMPLO DE DISEÑO ACOMETIDA – TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	54
<b>H.</b>	EQUIPO DE BOMBEO .....	55
<b>11.</b>	CONSIDERACIONES PARA LA CONSTRUCCION DE LA RED HIDRAULICA PARA EDIFICACIONES	
<b>A.</b>	ALMACENAMIENTO .....	59
<b>B.</b>	LOCALIZACION Y REPLANTEO.....	59
<b>C.</b>	PRUEBAS DE PRESION .....	62
<b>D.</b>	PRUEBAS DE FLUJO .....	65
<b>E.</b>	DESINFECCION DE LA RED .....	65
<b>12.</b>	EJEMPLO DE DISEÑO EN EPANET 2.0	
<b>A.</b>	DIBUJO DE LA RED Y ALIMENTACION .....	66
<b>B.</b>	DATOS DE ENTRADA .....	68
<b>C.</b>	ESTIMACION DE CAUDALES .....	68
<b>D.</b>	ANALISIS DE RESULTADOS .....	70
<b>13.</b>	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	78
<b>14.</b>	BIBLIOGRAFIA.....	80

## 1. LISTA DE ILUSTRACIONES

- Ilustración 4.1 Esquema básico de captación*
- Ilustración 4.2 Acueducto de Appia*
- Ilustración 4.3 Acueducto Vetus*
- Ilustración 4.4 Acueducto Marcia*
- Ilustración 4.5 Acueducto Virgo*
- Ilustración 4.6 Acueducto Claudia*
- Ilustración 4.7 Recreación artística baño romano*
- Ilustración 4.8 Recreación artística aprovechamiento del Nilo*
- Ilustración 4.9 Panorámica Embalse San Rafael*
- Ilustración 4.10 Panorámica embalse el Sisga*
- Ilustración 6.1 Codo 90° cambio en la dirección del flujo, pérdidas de energía localizadas – Mecánica de Fluidos, Cengel y Cimbala.*
- Ilustración 6.2 Ubicación puntos A y B, flujo en el sistema de A hacia B.*
- Ilustración 6.3 Tomado de Diseño Hidráulicos, Sanitarios y de Gas en edificaciones, Héctor Rodríguez*
- Ilustración 7.1 Ejemplo Red Abierta*
- Ilustración 7.2 Ejemplo Red Cerrada*
- Ilustración 8.1 Esquema Sanitario*
- Ilustración 8.2 Símbolo para Sanitario*
- Ilustración 8.3 Símbolo para Lavaplatos*
- Ilustración 8.4 Lavadero en mármol*
- Ilustración 8.5 Símbolo Lavadero*
- Ilustración 8.6 Lavamanos de pedestal con suministro de A.F.*
- Ilustración 8.7 Lavamanos ubicado en mueble de baño, mezclador dentro del mueble para suministro de A.F. y A.C.*
- Ilustración 8.8 Símbolo Lavamanos*
- Ilustración 8.9 Símbolo ducha*
- Ilustración 8.10 Calentador de paso HACEB*
- Ilustración 8.11 Símbolo Calentador*
- Ilustración 8.12 Tabla caudales y presiones mínimas de operación aparatos sanitarios recomendados por la NTC-1500.*
- Ilustración 8.13 Adaptación Diseños Hidráulicos, Sanitarios y de Gas en Edificaciones.*
- Ilustración 9.1 Catalogo Pavco CPVC*
- Ilustración 9.2 Catalogo Pavco PVC*
- Ilustración 9.3 Codo 90°*
- Ilustración 9.4 Codo 45°*
- Ilustración 9.5 Unión*
- Ilustración 9.6 Tapón Soldado*
- Ilustración 9.7 Medidor de Chorro Único*
- Ilustración 9.8 Medidor de chorro múltiple*
- Ilustración 9.9 Medidor Volumétrico de disco oscilante, Corte Transversal*
- Ilustración 10.1 Plano de Implantación Arquitectónica de un Proyecto de Vivienda*
- Ilustración 10.2 Planta arquitectónica de un apartamento tipo*
- Ilustración 10.3 Planta arquitectónica apartamento tipo con red trazada*
- Ilustración 10.4 Esquema estructural muro-placa-muro, para Sistema estructural de muros de carga.*
- Ilustración 10.5 Esquema isométrico preliminar para una red interna de suministro*
- Ilustración 10.6 Unidades de consumo establecido por la NTC 1500*
- Ilustración 10.7 Grafica de Hunter NTC 1500*
- Ilustración 10.8 Planta arquitectónico apartamento tipo*
- Ilustración 10.9 Planta arquitectónica apartamento tipo con red trazada*
- Ilustración 10.10 Isométrico apartamento tipo*
- Ilustración 10.11 Tabla de cálculo Método Factor de Simultaneidad*
- Ilustración 10.12 Tabla de cálculo Método Hunter Modificado*
- Ilustración 10.13 Tabla Características red aparato más desfavorable.*
- Ilustración 10.14 Planta arquitectónica apartamento tipo con red trazada*
- Ilustración 10.15 Perdidas de energía por fricción red aparato más desfavorable.*
- Ilustración 10.16 Perdidas de energía por accesorios red aparato más desfavorable.*
- Ilustración 10.17 Energía mínima para el adecuado funcionamiento de la red apartamento.*

*Ilustración 10.18 Cálculo Q máximo probable (lps)*

*Ilustración 10.19 Tabla cálculo de diámetros mínimos, método Factor de Simultaneidad.*

*Ilustración 10.20 Pérdidas de energía por fricción red aparato más desfavorable.*

*Ilustración 10.21 Pérdidas de energía por accesorios red aparato más desfavorable.*

*Ilustración 10.22 Energía mínima para el adecuado funcionamiento de la red.*

*Ilustración 10.23 Esquema General Bomba, Mecánica de Fluidos. Cengel y Cymbala*

*Ilustración 11.1 Armado de red de suministro para placa de entrepiso*

*Ilustración 11.2 Acomodación de puntos de A.F. y A.C. en cocina debido a altura errónea, Sistema de Mampostería Estructural*

*Ilustración 11.3 Acomodación de punto de A.F. en cocina debido a altura errónea, Sistema de Muros en concreto.*

*Ilustración 11.4 Área para ductos y medidores Proyecto Venti.*

*Ilustración 11.5 Cajilla medidores para 4 apartamentos, red matriz 2 1/2", piso tipo proyecto Venti.*

*Ilustración 11.6 Manómetro de medición de presión en PSI, cargado a 150 PSI.*

*Ilustración 11.7 Manómetro durante prueba de presión de Placa de entrepiso.*

*Ilustración 11.8 Reparación de punto de suministro de inodoro en muro de mampostería por perforación de acero de dovela.*

*Ilustración 11.9 Reparación de red de suministro en placa de concreto de piso 1 por perforación de tornillos para soporte de tubería colgante en sótano.*

*Ilustración 11.10 Reparación de red de suministro en placa de concreto en Sistema Industrializado por perforación de taches durante proceso de testereado de muros.*

*Ilustración 12.1 Panel principal Epanet 2.0*

*Ilustración 12.2 Isométrico red trazado en AutoCAD*

*Ilustración 12.3 Isométrico importado a Epanet 2.0*

*Ilustración 12.4 Cuadros de características Nodos y Tuberías, Epanet 2.0*

*Ilustración 12.5 Tabla Excel para estimación de caudales método de Hunter modificado.*

*Ilustración 12.6 Cuadro de digitación y resultados para embalse, Epanet 2.0*

*Ilustración 12.7 Botón para correr simulación, Epanet 2.0*

*Ilustración 12.8 Cuadro de digitación y resultado en nodo, Epanet 2.0*

*Ilustración 12.9 Cuadro de digitación y resultado en tubería, Epanet 2.0*

*Ilustración 12.10 Cuadro de creación de gráficos.*

*Ilustración 12.11 Perfil de presiones para los aparatos*

*Ilustración 12.12 Grafico de frecuencias de Velocidad en tuberías.*

*Ilustración 12.13 Cuadro de creación de Tablas.*

*Ilustración 12.14 Tabla de características para tramos de tubería del sistema*

*Ilustración 12.15 Tabla de características para nudos del sistema*

*Ilustración 12.16 Tabla diámetros y velocidades definitivas de red.*

*Ilustración 12.17 Isométrico red en área de baños, Epanet 2.0*

*Ilustración 12.18 Isométrico red en área de cocina y ropas, Epanet 2.0*

*Ilustración 12.19 Isométrico red interna - almacenamiento, Epanet 2.0*

## 2. INTRODUCCION

Como elemento imprescindible e irremplazable en el surgimiento y desarrollo de los seres vivos en la Tierra, el agua se considera un insumo esencial para todas o casi todas las actividades del ser humano, desde las necesidades biológicas hasta la actividad industrial, pasando por fines recreativos, la generación de energía eléctrica y los trabajos agrícolas. Por lo tanto, a través del tiempo se ha hecho necesario estudiar formas para obtenerla, conducirla, acumularla y distribuirla, desafiando las características físicas del planeta. Las condiciones geográficas, topográficas, climáticas y, sobre todo, gravitacionales han planteado desafíos importantes al ser humano en su afán por garantizar y optimizar los métodos de distribución del agua para las actividades requeridas.

El auge de la construcción de vivienda en Bogotá y los municipios circundantes demanda diseños eficientes en su instalación y costo. El gran reto para las empresas diseñadoras consiste en establecer una metodología que garantice tiempos de elaboración cortos y diseños eficientes, y para el cliente constructor que los proyectos cumplan con las condiciones hidráulicas que exige la norma. El principal objetivo de este trabajo es presentar una metodología para desarrollar el diseño hidráulico de la red de distribución de agua potable para un proyecto de vivienda en la sabana de Bogotá, desde el punto de entrega de la red municipal, pasando por el equipo de bombeo al interior del proyecto, hasta llegar al último aparato del piso más alto del edificio. Se hacen recomendaciones sobre aspectos claves en el diseño y la construcción de la red de distribución, como el sistema constructivo, la normatividad existente y el marco teórico establecido. Adicionalmente se presenta un ejemplo de diseño de una red de distribución de agua potable para una edificación utilizando los métodos del Factor de Simultaneidad y el de Hunter modificado, a través de tablas de cálculo de Excel y con el programa informático de Epanet, para su respectivo análisis y comparación.

Una parte de la información de este documento corresponde a la recopilación bibliográfica. En algunos casos se presenta de manera textual, citando la fuente.

## 3. **NORMATIVIDAD PARA EL DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE.**

La elaboración de redes internas de distribución en edificaciones, desde el punto de entrega de la red municipal hasta el último aparato del proyecto, está reglamentada por el Código Colombiano de Fontanería o Norma Técnica Colombiana 1500, según el Decreto 2269 de 1993, actualizada por última vez el 16 de agosto de 2017. Esta norma "... establece los requisitos mínimos para garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua potable, sistemas de desagüe de aguas negras y lluvias, sistemas de ventilación y aparatos necesarios para el funcionamiento y uso de estos sistemas". Cabe destacar que esta norma no sólo se aplica para la construcción de instalaciones hidráulicas y sanitarias; también rige para su modificación, reparación, reubicación o mantenimiento. Las disposiciones de la NTC-1500 proporcionan los requisitos **mínimos** que deben cumplir las instalaciones hidráulicas para garantizar la protección de la salud, la seguridad y el bienestar públicos.

Esta norma contiene trece capítulos, que desarrollan los siguientes temas:

El **capítulo 1** establece el objeto de la norma. El **capítulo 2** desarrolla las condiciones que deben tener los diseños de las instalaciones, reparaciones y modificaciones, aplicaciones a instalaciones hidráulicas y sanitarias existentes, inspecciones, ensayos de sistemas y aprobación de conexión de energía. El **capítulo 3** presenta 73 definiciones de conceptos relacionados con las instalaciones hidráulicas y sanitarias, como colector, presión residual o válvula de cheque, entre otros. El **capítulo 4** desarrolla los requisitos mínimos de las redes, aparatos, prácticas de instalación, protección de tuberías, materiales y estructuras, características mínimas de soportes de tuberías descolgadas, zanjas, excavaciones, rellenos, uniones y conexiones, entre otros.

Por su parte, el **capítulo 5** profundiza en la descripción y las características de los aparatos sanitarios, reboses, aparatos no aprobados, instalaciones fijas especiales, desagües de pisos, cuartos de duchas, instalaciones para discapacitados, jacuzzis y los procedimientos de instalación.

El **capítulo 6** trata sobre el suministro y la distribución de agua desde las disposiciones generales, pasando por las conexiones cruzadas, los materiales, las válvulas y los tanques de reserva hasta las pruebas. Adicionalmente, hace consideraciones para el diseño de la tubería de agua potable.

En el **capítulo 7** se refiere a los sistemas de abastecimiento de agua caliente: calentadores, calderas, elementos de regulación y control, y pruebas, entre otros. El **capítulo 8** desarrolla aspectos de los sistemas de desagüe: materiales, diámetros mínimos, conexión de aparatos, cambios en dirección del flujo, taponés de limpieza, aliviós de espuma, pruebas de estanqueidad, prueba de flujo y dimensionamiento de colectores, entre otros. El **capítulo 9** establece los aspectos para los desagües indirectos: requisitos, dimensión de tuberías, receptores, conexiones de desagüe a presión, equipo de esterilización, agua de enfriamiento, bebederos públicos, desagües químicos y piscinas.

El **capítulo 10** normaliza las características de los sistemas de ventilación: ventilaciones requeridas y no requeridas, diámetro de los tubos, pendientes y conexiones, terminales, columnas y ventilaciones de alivio, ventilaciones húmedas, ventilaciones especiales para islas de aparatos, sistemas combinados de desagüe y ventilación. El **capítulo 11** desarrolla los aspectos de los sifones e interceptores. El capítulo 12 aborda los aspectos relacionados con los desagües de aguas lluvias: generalidades, drenajes en cimentación, desagües en sótanos y semisótanos, limpieza, bajantes, colectores, conexiones y pruebas del sistema.

El último capítulo hace la recopilación normativa de títulos necesarios para la aplicación de la norma.

La metodología del presente trabajo de grado se enfoca en el diseño de redes internas en una edificación para vivienda, es decir, desde el punto de entrega de la red municipal en la entrada del proyecto. Es importante identificar y diferenciar los proyectos por tipo de edificación para efectos de concepción de la red de distribución.



#### 4. ANTECEDENTES

Desde la antigüedad cualquier asentamiento humano necesitaba disponer de un sistema de aprovisionamiento de agua para satisfacer sus necesidades vitales. De ahí que generalmente se establecieran cerca de un río o manantial. La construcción de conductos era la mejor forma de garantizar el suministro, ya que debían extraer el agua del río que, aunque estuviera muy cerca, generalmente tenía un nivel más bajo que el asentamiento. En otras ocasiones era preferible construir un acueducto porque el agua era de mejor calidad que la del río.

Históricamente el desarrollo económico y social del ser humano ha estado vinculado con el agua, por ser un recurso vital 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, las cuales se desarrollaron alrededor de las fuentes fluviales, como Roma cerca del Tíber, 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 de 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 baños 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 prácticas religiosas, a través de rituales purificadores que practican



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.

### ***Mesopotamia***

Además de ser la cuna de las primeras civilizaciones, marcó el nacimiento de las técnicas constructivas, como la creación de estructuras para los sistemas de canalización, riego y transporte del agua, que tuvieron gran impacto en el desarrollo de la humanidad e hicieron posible la aparición de ciudades y la expansión de la agricultura. El Éufrates, con un recorrido de 3.600 km, es el río más largo del sudoeste de Asia. Tiene un cauce ancho y poco profundo y es fácilmente navegable. En cambio el Tigris, de 1.900 km de longitud, recorre terrenos más accidentados, por lo que es más complicado surcar en sus aguas. Cuando ambos ríos llegan a las llanuras aluviales del sur y se van aproximando al golfo Pérsico se unen y crean una red de pequeños ríos, marjales y lagos. Finalmente desembocan en el golfo como un solo río, el Shatt al Arab. Sus aguas contienen muchos sedimentos, principalmente limos, lo cual las convertía hace 5.000 años en un fertilizante natural de los terrenos por los que discurrían. No obstante, las tierras bañadas por el Éufrates fueron más propicias para la agricultura, debido a que sus aguas bajaban a menor velocidad y permitían una mayor sedimentación y elevación de los cauces.

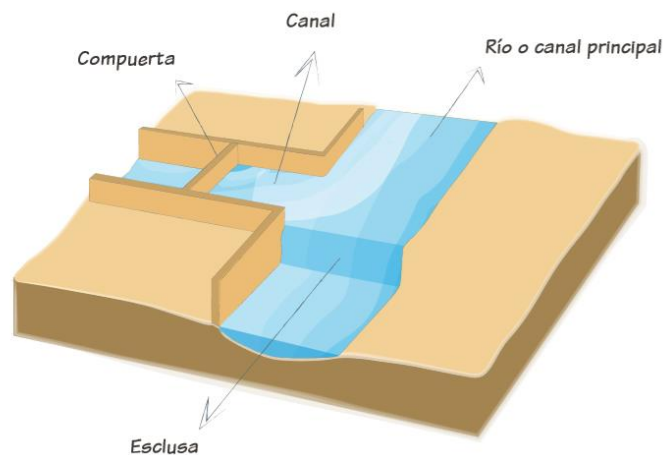
Quienes decidieron establecerse en esta zona tuvieron que aprender a controlar estos dos ríos, que generaban inundaciones periódicas. Pero gracias a ello, cuando las aguas se retiraban, las tierras tenían las condiciones adecuadas para ser cultivadas. El tipo de agricultura que se desarrolló en Mesopotamia estaba condicionado no sólo por la disponibilidad de agua sino también por el relieve. El norte, una meseta con lluvias en otoño y primavera, fue la zona más propicia para los cultivos de secano y la ganadería; en cambio, la zona sur, muy llana y con menos precipitaciones, se dedicó a la agricultura de regadío. A diferencia de otras civilizaciones, como la de Egipto, varios pueblos fueron sucediéndose en la ocupación de Mesopotamia a lo largo de su historia, debido a que era un territorio muy ambicionado por sus valles fértiles en medio de una zona hostil para la vida. Sumerios, acadios, babilonios, asirios y persas fueron los principales pueblos que habitaron en esta zona, en la que se distinguen tres regiones. Se calcula que la civilización mesopotámica abarcó una extensión cercana a los 80.000 km<sup>2</sup> y ocupó buena parte de lo que actualmente es Irak y algunas zonas de Irán y Siria.

La principal dificultad era drenar la tierra después de las inundaciones y repartir el agua superficial por la llanura. La solución fue desarrollar un sistema de riego para ampliar la zona agrícola más allá de las riberas de los principales ríos y controlar las avenidas de agua para que, una vez se hubiese sembrado, no se perdiera la cosecha por nuevas inundaciones. Este sistema consistió en secar las zonas inundadas a partir de la construcción de diques y canales de irrigación que transportaban y repartían el agua. Gracias a este sistema de riego, no sólo pudo practicarse una agricultura de regadío, que fue expandiéndose desde el sur hasta el norte de Mesopotamia, sino que, además, las poblaciones se fueron instalando cada vez más cerca de los ríos. Para prevenir la inundación de los campos cercanos al río se construyeron diques para

evitar que el agua los sobrepasara y facilitar a su vez el control del paso del agua y su distribución a través de los canales.

El principal sistema de riego se complementaba con otras estructuras que servían para regular el flujo de los ríos, como las cisternas, las esclusas, los canales elevados e, incluso, los acueductos. Existía un sistema de canales jerarquizado. Los más grandes partían directamente de los ríos y eran la base para una red secundaria de canales y acequias de diversos tamaños. Normalmente estos canales alimentaban depósitos de agua rectangulares, llamados nag-kud, que servían para almacenar agua, pero también y, sobre todo, para el riego de los cultivos.

Fue principalmente en la Baja Mesopotamia donde se creó una red muy extensa de canales. La ciudad de Lagash, por ejemplo, estaba unida directamente al mar por uno de ellos. En la zona asiria, en cambio, debido a lo escarpado del terreno la construcción de canales suponía mucho esfuerzo, razón por la cual se construyeron elevados, como acueductos, y servían para abastecer de agua potable a las ciudades.



*Ilustración 4.11 Esquema básico de captación*

Aunque normalmente no era necesario elevar el agua de los ríos, ya que su lecho quedaba por encima del nivel de los campos a causa de la cuantiosa sedimentación, se desarrollaron estructuras para tal fin, como los shadoufs (estructuras simples usadas a modo de palancas) y las norias. En esta época, concretamente bajo el dominio de los babilonios, se realizaron las primeras obras de ingeniería subterránea, como por ejemplo la construcción de un túnel bajo el río Éufrates en el 2180 a.C., tenía aproximadamente 900 m de longitud y una sección de 316,2 m<sup>2</sup>. Se realizaron modificaciones en los cauces de los ríos, que se diseñaron según las necesidades de cada ciudad-estado a través de canalizaciones artificiales, como por ejemplo el tramo del Éufrates entre Shuruppak y Uruk, que se caracterizó por tener un trazado lineal y regular.

Otra motivación que llevó a los pueblos mesopotámicos a construir infraestructuras hidráulicas fue mantener abiertas las comunicaciones fluviales y crear enlaces entre los cauces de los ríos.

Hay constancia de numerosos canales que comunicaban el Tigris con el Éufrates, los cuales, aprovechando las corrientes por gravedad, favorecieron el comercio y el intercambio de mercancías entre varias ciudades. El desarrollo de todos estos sistemas hidráulicos en Mesopotamia no se dedicó sólo al control y la distribución del agua para uso agrícola y la navegación comercial, sino que se han encontrado canalizaciones para la evacuación de las aguas usadas o de las aguas pluviales, lo cual las convierte en las primeras instalaciones de saneamiento de la historia de las que se tiene constancia.

La economía mesopotámica tenía su base en la agricultura y, en consecuencia, era muy dependiente de los recursos fluviales. En este sentido, no sólo el control del agua fue de suma importancia, sino que también lo fueron la construcción, la conservación y el mantenimiento de todas las infraestructuras hidráulicas.

### ***Imperio Romano***

Los romanos construyeron en todo su territorio los acueductos más importantes en tamaño y en cantidad. Iniciaba con un sistema de captación de agua que pasaba de forma controlada a la conducción desde un depósito de cabecera, desde donde se distribuía por toda la ciudad. Se usaban canales abiertos, siempre que resultaba posible, y en contadas ocasiones se recurría a la conducción bajo presión.

Cuando era posible, transcurría sobre el suelo apoyado en un muro en el que se practicaban alcantarillas para facilitar el tránsito normal de las aguas de superficie. Si el terreno se elevaba, el canal quedaba enterrado y formaba una galería subterránea excavada directamente en la roca o construida dentro de una zanja. Cuando había que vencer una fuerte depresión se recurría a la construcción de complicados sistemas de arcos que sostenían el canal y lo mantenían al nivel adecuado. En todo caso, siempre que el agua se destinaba al consumo humano, el canal estaba cubierto por bóvedas, falsas bóvedas, placas de piedra o tégulas. Según Isabel Rodà, catedrática de Arqueología de la Universidad Autónoma de Barcelona, se construyeron 507 km de acueductos, de los cuales 434 eran subterráneos, 15 de superficie y sólo 59 km, es decir, el 12%, discurría por arquerías.

Estos acueductos estaban entre los mayores logros de la ingeniería en el mundo antiguo y establecieron un estándar no igualado durante más de mil años, tras la caída de Roma. Actualmente muchas ciudades mantienen y usan los antiguos acueductos, aunque los canales abiertos han sido reemplazados por tuberías. Roma, por ser la ciudad más grande, tenía once acueductos, que se construyeron a lo largo de 500 años, los cuales proporcionaban agua potable, numerosos baños y fuentes en la ciudad y, finalmente, se vaciaban en serrerías, en las que desempeñaban su última función: remover los desperdicios.



*Ilustración 4.12 Acueducto de Appia*

El Aqua Appia fue el primer acueducto de Roma, construido por los censores Apio Claudio Ceco, conocido también por la construcción de la Vía Apia durante su censura, y Cayo Plaucio Venox1 en el año 312 a. C.. Cuando el agua del río Tíber ya estaba demasiado contaminada para el consumo humano y los manantiales y pozos más próximos no abastecían las necesidades de la población, hubo que plantearse cómo transportar agua desde más lejos. Según el comisionado de los acueductos de la capital, Sexto Julio Frontino, el censor C. Plaucio encontró el manantial en el agro, a 780 pasos a la izquierda de la vía Prenestina.



*Ilustración 4.13 Acueducto Vetus*

El acueducto Vetus, construido entre el 272 y el 270 a. C. por los censores Manio Curio Dentato y Flavio Flaco, con el botín de la victoria contra Pirro recogía las aguas del río Aniene en la zona de Tívoli. La conducción era en su mayor parte subterránea y llegaba a la ciudad en el mismo lugar del Aqua Appia.

El acueducto Marcia es el más largo de la antigua Roma, lo construyó en 144 a. C. el pretor Quinto Marcio Rex. Recogía las aguas desde la parte alta de la cuenca del río Aniene. Su curso era alternadamente subterráneo y sobre arcadas, y llegaba a Roma como los acueductos precedentes



*Ilustración 14.4 Acueducto Marcia*

El acueducto Virgo, construido por Agripa e inaugurado en el 19 a.C., abastecía las instalaciones termales del Campvs Martias. El nombre deriva, según una leyenda, de una joven que habría indicado a los soldados el lugar del manantial, aunque probablemente se refiere a la pureza del agua. El acueducto fue constantemente restaurado y todavía alimenta la Fontana di Trevi y la Fontana della Barcaccia, en la Plaza de España.



*Ilustración 4.15 Acueducto Virgo*

El acueducto Claudia lo inició Calígula en 38 d.C. y lo terminó Claudio en el 52 d.C., traía agua a la ciudad de Roma desde una fuente próxima al río Subiaco, a unos 68 kilómetros de distancia. El primero recogía las aguas del Aniene en las proximidades de los montes Simbruinos, mientras que el segundo las captaba desde la cima del valle del Aniene. En la 7.ª milla de la vía Latina el agua circulaba por un acueducto con arcadas, algunas de las cuales subsistieron al paso del tiempo en el Parque de los Acueductos. En la localidad de Tor Fiscale interceptaba dos veces al acueducto Aqua Marcia, formando un recinto trapezoidal (llamado Campo Barbarico). Un ramal secundario, construido por Nerón, (Arcus Neroniani) se dirigía hacia el Celio, en la parte ocupada

por el Domus Aurea. Este ramal fue sucesivamente prolongado por Domiciano para abastecer dos palacios imperiales en el Palatino, cruzando los valles entre este y el Celio, con altísimas arcadas.



*Ilustración 4.16 Acueducto Claudia*

Si en el trazado de la conducción se interponía un monte que no fuera posible rodear se recurría a la construcción de un túnel que lo perforara. Solamente se usaba este procedimiento si era inevitable. Los túneles planteaban grandes problemas técnicos. Normalmente se comenzaba por ambos extremos, lo que exigía una gran precisión en las labores para que los dos ramales se encontraran en el punto previsto. La estrechez de las zonas de corte exigía que en cada tajo trabajasen sólo uno o dos hombres, por lo que la obra progresaba con gran lentitud. Las conducciones subterráneas por canal solían estar comunicadas con la superficie por medio de pozos dispuestos a intervalos regulares, a través de los cuales se podía acceder al acueducto para su limpieza y mantenimiento. Los túneles también servían para extraer escombros e introducir materiales durante la construcción, así como para asegurar el correcto trazado y profundidad de la excavación. Los canales, salvo que estuvieran directamente excavados en roca impermeable, se revestían con un mortero impermeable compuesto de cal y pequeños fragmentos de cerámica triturada. Los ángulos interiores se protegían con una moldura convexa (media caña) del mismo material.



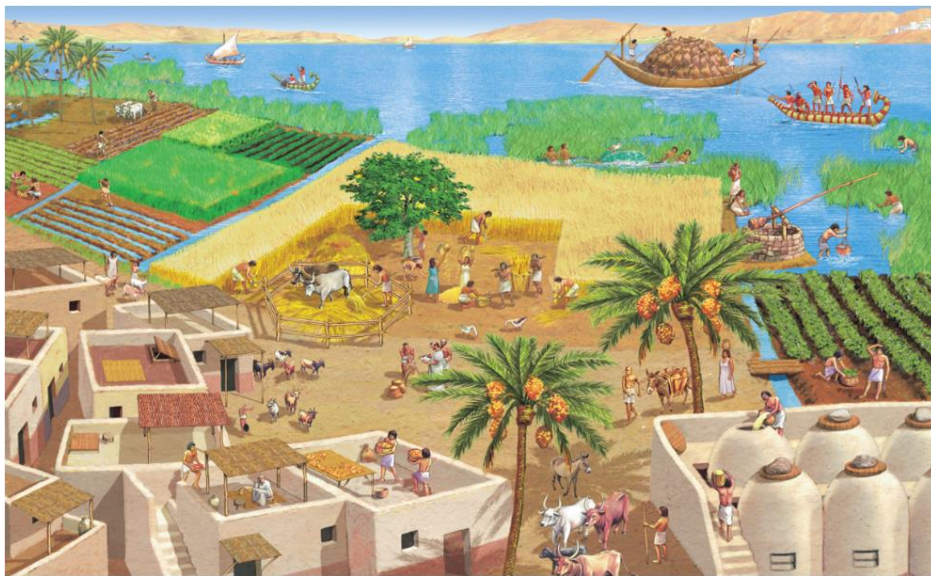
*Ilustración 4.17 Recreación artística baño romano*

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 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.

### **Egipto**

La vida agrícola de los egipcios estaba adaptada a la dinámica fluvial del río Nilo, el cual hizo posible que en medio del desierto se pudiera desarrollar una próspera agricultura, que fue un importante motor de progreso gracias a la cantidad y variedad de alimentos de los que disponían los habitantes. Aunque los principales productos agrícolas que consumían eran los cereales, principalmente trigo y cebada (la base de su dieta), también cultivaban muchas hortalizas, y frutas y empleaban gran variedad de especias y plantas aromáticas.

Los antiguos egipcios construyeron sistemas complejos de canales que tomaban agua del Nilo y la utilizaban para satisfacer sus necesidades de abastecimiento y regadío. Alrededor del año 2770 a.C. construyeron la primera presa de la que se tiene constancia histórica. Fue llamada Sad El-Kafara, que en árabe significa “presa de los paganos”. Estaba ubicada a 30 km al sur del Cairo, medía 14 metros de altura y tenía una longitud de entre 80 y 100 metros. Se utilizaron más de 10.000 toneladas de piedra y gravilla para su núcleo y las paredes se revistieron de mampostería. El grosor del muro era de 98 metros en la base y 56 en la coronación. Los trabajos duraron entre 10 y 12 años, pero una riada provocó su destrucción parcial antes de que fuera terminada. Se cree esto porque no existía un aliviadero, tampoco parece haber un desvío del río que evitara a la presa durante la construcción. Además, no hay restos de sedimentos acumulados en la parte interna de la presa.



*Ilustración 4.18 Recreación artística aprovechamiento del Nilo*

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.

### ***Bogotá***

Lo que se conoce desde la etapa colonial y que perduró durante buena parte del siglo XIX en materia de acueducto, es la referencia a la construcción de acequias al descubierto construidas en piedra, cuyas aguas provenían de fuentes cercanas que alimentaban pilas públicas sin acceso domiciliario, y sin ningún tratamiento. En efecto, durante una extensa etapa de los primeros 350 años de historia de la ciudad de Bogotá, la provisión de agua se dio mediante la canalización de aguas provenientes de los ríos Arzobispo, San Francisco, San Agustín, Fucha y Tunjuelo. El dato más antiguo data de 1689, cuando se autorizó emprender obras para conducir el agua desde el río Fucha. Se trataba de una acequia a cielo abierto, recubierta en algunos tramos por lajas de piedra y cal y canto, que desembocaba en una pila de uso público. A mediados del siglo XVIII un derrumbe destruyó esta conducción, la cual fue reemplazada por las aguas del río San Francisco, cuyas especificaciones eran mejores. Se le conoció como el “acueducto” de Agua Nueva, el cual se terminó en 1747. Hubo otras conducciones menores y aljibes caseros.

La autoridad municipal otorgaba concesiones que indicaban el monto del agua que se podía explotar, teniendo como contraprestación la construcción de las pilas de uso público y el mantenimiento de las instalaciones. Hacia 1800 la ciudad tenía más de 25.000 habitantes y cerca de 20 pilas públicas. Recoger el agua era todo un rito en la ciudad, pues era el momento para la socialización de acontecimientos ciudadanos, también para contar con la presencia de los profesionales del agua, los llamados “aguateros”, que la envasaban en cántaros de barro y la transportaban en burros, ofreciendo un servicio domiciliario. Este régimen no cambió mucho con el advenimiento de la independencia en 1819, ni por el tamaño ni la estructura de la ciudad, que durante las cuatro primeras décadas de la República no sufrió mayores alteraciones. Si bien todo permaneció igual desde la Colonia hasta la primera mitad del siglo XIX, diversos hechos globales como la articulación al mercado internacional alrededor del café y la centralización política como producto de la Constitución de 1886 y procesos de acumulación sostenida ampliaron el mercado interno y la capacidad económica del país, se incrementaron los recursos fiscales y el consumo, sobre todo en las ciudades grandes, entre ellas Bogotá. También desde países como Francia o Estados Unidos se propagaban nuevos conceptos de comodidad y confort y nuevos estilos de consumo, así como preceptos relacionados con la higiene, la salud pública, el agua potable y el saneamiento básico llevaron a cambiar los patrones de convivencia social en las ciudades. En 1886 se instaló en Bogotá un sistema de acueducto y alcantarillado con tubos de hierro galvanizado.



Este sistema superaba las acequias canalizadas en piedra o las “tuberías” en barro cocido, que funcionaban en algunos sitios pero eran susceptibles a las filtraciones y a la contaminación ambiental. Un censo de finales del siglo XIX muestra como bajo este nuevo sistema se contaba con seis acueductos, con un aforo total de 265 litros por segundo, de los cuales “Agua nueva” aportaba 127 litros. Hacia 1897 el acueducto en Bogotá tenía 2.800 acometidas domiciliarias, lo que representaba el 20,5% de los hogares de la ciudad, sin contar las destinadas a oficinas, industria y comercio. Sólo hasta 1905 en Cartagena y Medellín empezó a funcionar un acueducto metálico de similares características. Respecto al alcantarillado, si bien existían preocupaciones de orden ciudadano, la percepción que se tenía era de orden individualista, pues el hecho de verter “aguas servidas” en los alrededores, era un problema que afectaba a “otros”; por lo tanto, no era una preocupación que se consolidara en el tejido social. Sólo a finales de 1875 el municipio de Bogotá construyó un vertedero subterráneo que atendía al centro I y se complementaba con trabajos privados que desembocaban en los ríos de la ciudad. Sin embargo, las epidemias que azotaron la ciudad hicieron que el municipio tomara medidas más radicales al respecto. En 1885 se creó una Junta de Aguas y en 1887 la Comisión Permanente del Ramo de Aguas, que asumió el tema de los drenajes y desagüe.

En 1886 se concedió a empresarios privados la exclusividad para establecer, usar y explotar los acueductos de la ciudad y de Chapinero durante setenta años. El primer tramo de tubería de hierro comenzó a operar el 2 de julio de 1888. Dicho servicio fue de pésima calidad, lo que perpetuó durante estas décadas la insalubridad sanitaria que desde siglos atrás caracterizaba a la ciudad. En efecto, en 1914 el acueducto regresó a la municipalidad. En 1920 se inició la clarificación y a finales de la década se constituyó una nueva empresa, unida al tranvía y al acueducto de la ciudad.

En 1955 el acueducto se desvinculó del tranvía y se unió al sistema de alcantarillado, creando la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, mediante el Acuerdo 105 del Concejo Administrativo de la ciudad. Se empezó el desarrollo de estudios para traer más agua a Bogotá y se comenzó a construir la planta de tratamiento Tibitoc, que se terminó en 1959 con una capacidad inicial de 3,5 m<sup>3</sup>/s. Las dos ampliaciones posteriores permiten hoy contar con una capacidad de 10,4 m<sup>3</sup>/s. Esta planta se constituyó en el primer sistema de gran envergadura de la ciudad. Se surte de las aguas del río Bogotá que llegan por bombeo a la planta.

Ante el acelerado crecimiento de la ciudad, la EAAB puso en marcha el proyecto Chingaza, que inició obras en 1972. En la primera etapa se construyó el embalse de Chuza, de donde se transporta el agua por túneles hasta la Planta de Tratamiento Francisco Wiesner (antigua Planta El Sapo), localizada en el valle del río Teusacá. Desde la década de los sesenta la empresa elaboró un plan maestro de alcantarillado, decidiendo mantener el sistema de alcantarillado combinado en la parte antigua de la ciudad y adoptar para los futuros desarrollos el sistema separado o semi-combinado.



*Ilustración 4.19 Panorámica Embalse San Rafael*

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 m<sup>3</sup>. El agua de San Rafael se transporta a la Planta de Tratamiento Francisco Wiesner.



*Ilustración 4.20 Panorámica embalse el Sisga*

El transporte de agua a superficie libre implica un gran costo económico en la construcción de la infraestructura y en el espacio físico que se debe ceder. Actualmente el transporte del líquido en un sistema de tuberías a presión es la base teórica sobre la cual se fundamentan los diseños hidráulicos para edificaciones. Este sistema no sólo reduce costos económicos y de espacio, sino que resuelve el problema físico de vencer la gravedad para suministrar agua potable a cotas de mayor altura respecto al nivel de referencia del espacio de almacenamiento

## 5. PROPIEDADES DEL AGUA

Para desarrollar redes de presión es importante tener claro los conceptos esenciales y básicos en la hidráulica, los cuales ayudan a entender el comportamiento del agua en conductos cerrados. Se define fluido como toda la sustancia capaz de fluir (líquidos y gaseosos) y su principal característica es no tener forma propia, pues adquiere la forma del recipiente que lo contiene; éste se deforma continuamente al aplicar un esfuerzo cortante, obviando su magnitud. Entre las propiedades más importantes del agua encontramos las siguientes:

*Densidad:* se define como la masa por unidad de volumen. Para el agua en estado líquido se considera que la densidad es bastante estable y no varía significativamente con los cambios de temperatura y presión.

$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{litro}}$$

*Peso específico:* se define como el peso por unidad de volumen.

$$\gamma = 9800 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

*Presión:* es una fuerza aplicada en una dirección por unidad de área. Para la presión en este trabajo se utiliza como unidad el metro de columna de agua.

Metro columna de agua = m.c.a.

$$1 \text{ m.c.a.} = 9.8 \text{ K Pa} = 1422 \text{ PSI} = 0.1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

*Viscosidad absoluta:* es la resistencia al movimiento de un fluido cuando sus partículas se someten a un esfuerzo cortante.

$$\mu = 0.001 \text{ Pa s} = 0.001 \frac{\text{N s}}{\text{m}^2}$$

## 6. ECUACIONES FUNDAMENTALES

En general, se puede definir la energía total en un punto para un fluido incompresible en movimiento como la suma de la energía potencial, de presión y cinética, la cual se expresa en unidades de longitud.

*Energía potencial o gravitacional:* también conocida como la energía de posición, corresponde a la diferencia en unidades de longitud entre un punto de referencia establecido para su sistema y la ubicación en la que se quiere evaluar la energía del fluido.

*Energía de presión:* es la energía que un fluido contiene debido a la presión en el sistema.

*Energía cinética:* es la energía que un fluido posee debido a su velocidad.

De acuerdo con la ecuación de Bernoulli, la energía total para un flujo permanente se puede definir así:

$$ET_a = z_a + \frac{v_a^2}{2g} + \frac{P_a}{\gamma}$$

*Ecuación 6.1 Ecuación de Bernoulli en un punto a.*

$z$  = diferencia de altura entre el nivel de referencia establecido (0) y el punto de análisis (m).

$v$  = velocidad del fluido en el punto analizado ( $\frac{m}{s}$ ).

$P$  = presión sobre el fluido en el punto analizado (m).

$g$  = aceleración de la gravedad ( $9.81 \frac{m}{s^2}$ ).

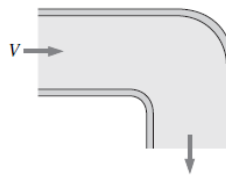
$\gamma$  = peso específico del agua ( $9800 \frac{N}{m^3}$ )

Se puede identificar que la energía de posición está en función de la altura del punto en análisis respecto a un nivel de referencia en la dirección de la gravedad. La energía cinética está en función de la velocidad del fluido en el punto en análisis y la energía de presión depende de la magnitud de la presión en el sistema.

Para algunos autores la energía cinética corresponde a una “cabeza de velocidad”, la energía de presión a una cabeza de presión, la energía total se denomina “cabeza hidráulica” y la suma de las energías de posición y de presión corresponde a la “altura o carga piezométrica”.

Debido a diversos factores existentes en los sistemas de tuberías, como los cambios de dirección o de diámetros, la presencia de válvulas o la fricción del fluido con las paredes de la tubería, durante el desplazamiento de un punto a otro del fluido se desarrollan pérdidas de energía, es decir, la energía disponible disminuye a medida que el fluido se mueve en la red.

Existen diferentes pérdidas de energía: las que son causadas por la fricción entre la tubería y el fluido, y las “pérdidas localizadas”, que agrupan los cambios de diámetro, de dirección o los diferentes dispositivos de control en el sistema



*Ilustración 6.2 Codo 90° cambio en la dirección del flujo, pérdidas de energía localizadas – Mecánica de Fluidos, Cengel y Cimbala.*

Planteando la ecuación de Bernoulli en los puntos a y b, se tienen en cuenta las pérdidas por fricción y las localizadas de la siguiente manera:

$$ET_a = ET_b + \sum \text{Pérdidas}$$

Ecuación 6.2 Ecuación de Bernoulli de un punto a hacia un punto b.



Ilustración 6.2 Ubicación puntos A y B, flujo en el sistema de A hacia B.

Por lo tanto, reemplazando la ecuación 6.2 de energía con la ecuación 6.1 de Bernoulli para los puntos a y b, se obtiene:

$$z_a + \frac{v_a^2}{2g} + \frac{P_a}{\gamma} = z_b + \frac{v_b^2}{2g} + \frac{P_b}{\gamma} + \Sigma \text{Pérdidas}_{a-b}$$

Ecuación 6.3 Ecuación de Bernoulli para dos puntos diferentes en el sistema.

Existen diversas formas de calcular las pérdidas en una tubería, entre ellas están las siguientes:

*Pérdidas por fricción:* ocurren como consecuencia de la fricción existente entre el fluido y las paredes de la tubería. Es continua a lo largo de todos los tramos del sistema y en toda el área de la sección de la tubería. La ecuación de Darcy - Weisbach se utiliza ampliamente en el sector.

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

Ecuación 6.4 Ecuación de Darcy – Weisbach.

Donde f (adimensional) corresponde al coeficiente de fricción, L (m) es la longitud del tramo analizado, D (m) es el diámetro interno de la tubería, v es la velocidad media ( $\frac{m}{s}$ ) y g ( $\frac{m}{s^2}$ ) es el valor de la aceleración de la gravedad.

*Pérdidas localizadas o por accesorios:* pueden ocasionarse por el aumento o reducción del diámetro de la tubería, cambio de dirección, entrada o salida al sistema, válvulas o dispositivos de control.

El ingeniero Héctor Alfonso Rodríguez presenta en su libro *Diseños hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones* una tabla que resume de forma práctica las ecuaciones y los coeficientes utilizados comúnmente en redes internas de edificaciones.

**Tabla 3.3A**  
Pérdidas locales o por accesorios

Accesorios	Pérdida media de energía
1. ENTRADA (de tanque de almacenamiento a tubería)	$0,5 \cdot \frac{v^2}{2g}$
* conexión a ras de pared	$1,00 \cdot \frac{v^2}{2g}$
* tubería entrante	$1,00 \cdot \frac{v^2}{2g}$
2. SALIDA (de tubería a depósito) (Entrada al tanque del inodoro)	$1,00 \cdot \frac{v^2}{2g}$
3. AMPLIACIÓN GRADUAL	$K \cdot \frac{(V_{ENTRADA} - V_{SALIDA})^2}{2g}$ K se encuentra en la tabla 3.3B.2
4. CONTRACCIÓN BRUSCA	$K \cdot \frac{v^2}{2g}$ K se encuentra en la tabla 3.3B.1
5. CAMBIOS DE DIRECCIÓN (estándar)	$K \cdot \frac{v^2}{2g}$
* Codo K = 0,9	
7. BIFURCACIONES	$K \cdot \frac{v^2}{2g}$
* Tee 1,5 < K < 2,0	
* Tee (salida lateral) K = 0,9	
* Tee (salida bilateral) K = 2,0	
* Tee (paso directo) K = 0,15	
9. VÁLVULAS	$K \cdot \frac{v^2}{2g}$
*de compuerta (abierta) K aprox. = 0,25	
*de cierre rápido K aprox. = 7,7	
*de check K aprox. = 2,5	

Tablas 3.3B.1 y 3.3B.2

Contracción brusca		Ensanchamiento gradual para un ángulo de:							
d1/d2	K	4°	10°	15°	20°	30°	50°	60°	
1,2	0,08	0,02	0,04	0,09	0,16	0,25	0,35	0,37	
1,4	0,17	0,03	0,06	0,12	0,23	0,36	0,50	0,53	
1,6	0,26	0,03	0,07	0,14	0,26	0,42	0,57	0,61	
1,8	0,34	0,04	0,07	0,15	0,28	0,44	0,61	0,65	
2,0	0,37	0,04	0,07	0,16	0,29	0,46	0,63	0,68	
2,5	0,41	0,04	0,08	0,16	0,30	0,48	0,65	0,70	
3,0	0,43	0,04	0,08	0,16	0,31	0,48	0,66	0,71	
4,0	0,45	0,04	0,08	0,16	0,31	0,49	0,67	0,72	
5,0	0,46	0,04	0,08	0,16	0,31	0,50	0,67	0,72	

Ilustración 6.3 Tomado de *Diseño Hidráulico, Sanitarios y de Gas en edificaciones*, Héctor Rodríguez

Pérdidas por longitud equivalente: consiste en estimar las pérdidas localizadas y expresarlas en forma de longitud equivalente, es decir, cuantificar en metros de tubería recta de igual diámetro las pérdidas de energía en un punto de análisis. Analizando la fórmula de Darcy-Weisbach, en la que para un tramo de tubería la longitud, el coeficiente de fricción de la tubería y el diámetro son constantes, las pérdidas serán iguales a la cabeza de velocidad multiplicada por una constante K, se define el coeficiente de pérdidas de cada accesorio.

$$hf = f \cdot \frac{Le}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 6.5 Ecuación de Darcy – Weisbach para una longitud equivalente.

$$hf = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 6.6 Ecuación de pérdidas localizadas estándar.

Si se despeja la longitud equivalente (Le) de la ecuación 6.5 se obtiene la siguiente expresión:

$$Le = \frac{hf D 2g}{f v^2}$$

Ecuación 6.7 Ecuación de Darcy – Weisbach despejando la longitud equivalente.

Reemplazamos hf de la ecuación 6.6 en la ecuación 6.7:

$$Le = \frac{K v^2 D 2g}{2g f v^2}$$

Ecuación 6.8 Ecuación de Darcy – Weisbach reemplazando en la ecuación 6.7 con la expresión de hf, ecuación 6. 6.

De la ecuación 6.8 se eliminan las expresiones de gravedad y velocidad, y se obtiene la siguiente expresión:

$$Le = K \cdot \frac{D}{f}$$

Ecuación 6.9 Ecuación de longitud equivalente.

## 7. TIPOS DE REDES

Generalmente la red de suministro de agua en una edificación es el conjunto de tuberías que conducen el líquido a presión hacia todos los aparatos de un sistema, en el que se requiere satisfacer presiones y caudales de servicio para cada dispositivo, teniendo en cuenta que no funcionarán simultáneamente. En ese caso se concibe como una red abierta.

### Red abierta

Se denomina así cuando los tubos que la componen se ramifican sucesivamente, sin interceptarse después formando circuitos. Los extremos finales de las ramificaciones pueden terminar en un recipiente o descargar libremente a la atmósfera.

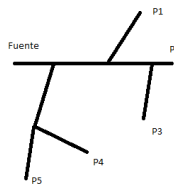


Ilustración 7.1 Ejemplo Red Abierta

### Red cerrada

Una red es cerrada cuando los conductos que la componen se cierran formando circuitos. Aplica para las redes de distribución de agua potable en ciudades o en redes de distribución de agua para uso industrial.

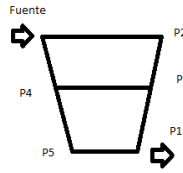


Ilustración 7.2 Ejemplo Red Cerrada

## 8. APARATOS SANITARIOS

Las actividades que realiza el ser humano en su vivienda como la preparación de alimentos, el aseo personal o la evacuación de desechos fisiológicos, entre otros, han promovido el desarrollo de aparatos especializados. Para diseñar la red de suministro es importante identificar los aparatos que se utilizan en cada vivienda y sus características de servicio, para establecer las dimensiones de cada tramo de red y las presiones de servicio correspondientes. Para el presente proyecto se identifican los aparatos sanitarios que se van a instalar.

### *Inodoros*

Aparato sanitario que recoge y evacúa los excrementos sólidos y líquidos hacia el sistema de alcantarillado público urbano. Generalmente son de porcelana, pero también pueden ser de acero inoxidable. Se dividen de acuerdo con el dispositivo de descarga: de tanque o de fluxómetro.

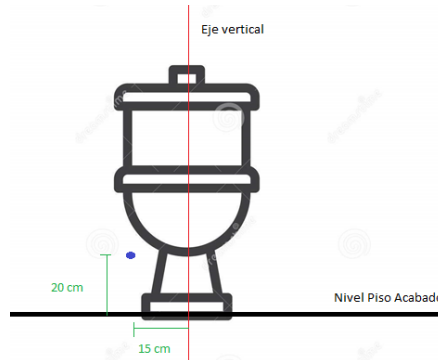
- De tanque. Disponen de un sistema de cierre para el nivel máximo de almacenamiento a través de un flotador. Se acciona a través de una manija, la cual está conectada a una cuerda levantada a una pera selladora, que permite el flujo hacia el interior de la taza, descargándose casi por completo el tanque de almacenamiento hasta que la pera vuelve a su posición inicial, en este momento comienza el suministro de agua al tanque, mediante un tubo vertical de admisión en cuya parte superior se encuentra un cámara a donde el agua llega a presión y se distribuye de la siguiente manera: una parte fluye por medio de un tubo de llenado hacia el tanque de almacenamiento, otra parte se dirige a través de una manguera de pequeño diámetro hacia el tubo de rebose el sello hidráulico y la parte restante queda en la cámara, donde se encuentra un embolo conectado al flotador por medio de unos brazos. En el momento en que el agua alcance un nivel máximo en el tanque, este embolo se asienta sobre el tubo de admisión mediante un juego de palancas, obstaculizando la entrada de flujo al sistema.

El tubo de admisión y llenado del tanque funciona como eje vertical del flotador, que normalmente es de pistón y está conectado al tubo de admisión a través de una varilla, la cual acciona la válvula ubicada en la parte inferior del tubo de admisión.

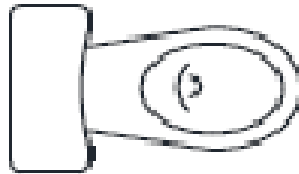
La descarga se realiza mediante un sifón de manera eficiente, siempre y cuando se halla suministrado el volumen de agua necesario. Existen varios tipos de sifonamiento: por chorro, por vórtice, por arrastre inverso, por arrastre o por succión.

La tubería de suministro se debe instalar sobre el muro de apoyo de los sanitarios 20 cm por encima del nivel de piso terminado y a 15 cm a la izquierda del eje vertical del aparato.





*Ilustración 8.1 Esquema Sanitario*



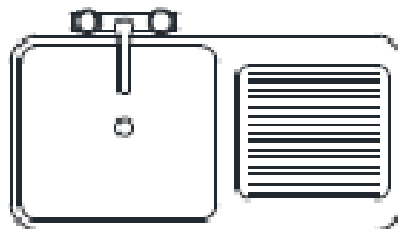
*Ilustración 8.2 Símbolo para Sanitario*

### *Lavaplatos*

También se denomina fregadero. Es el recipiente que se utiliza para lavar vajillas, cubiertos y demás útiles de cocina. Se pueden elaborar con una amplia gama de materiales como granito, acero inoxidable, porcelana, esmalte sobre acero o hierro fundido, cerámica, plástico o fibra de vidrio.

Para su correcto funcionamiento requiere un desagüe, en el que una rejilla impide el paso de residuos que puedan taponar la tubería, pero permite que corra el agua residual resultado del lavado. Normalmente los lavaplatos traen dos grifos unidos mediante un mezclador, para conectar un punto de agua fría y otro de agua caliente; sin embargo, existen lavaplatos con un solo grifo para conectar agua fría.

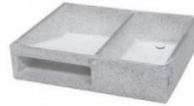
La tubería de suministro se debe instalar sobre el muro de apoyo del lavaplatos 65 cm por encima del nivel de piso terminado, 10 cm a la izquierda del punto de agua fría, y 10 cm a la derecha del punto de agua caliente respecto al eje vertical del aparato.



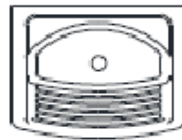
*Ilustración 8.3 Símbolo para Lavaplatos*

### *Lavadero*

Es un recipiente rectangular en el que se lava la ropa, consta de dos partes: una poceta destinada para el almacenamiento de agua y un plano inclinado con estrías sobre el cual se frota la ropa. Sólo se le suministra agua fría. Se pueden elaborar en acero inoxidable, fundición esmaltada, loza vidriada, pizarra, gres aporcelanado, mármol o porcelana vitrificada, entre otros. El punto de agua fría se puede dejar a 90 cm desde el nivel de piso acabado. En el plano horizontal se debe localizar de tal manera que descargue directamente sobre la poceta de almacenamiento.



*Ilustración 8.4 Lavadero en mármol*



*Ilustración 8.5 Símbolo Lavadero*

### *Lavamanos*

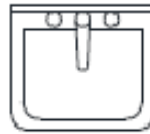
Es el recipiente en el que se vierten los residuos resultados del aseo personal, como lavado de dientes y manos, entre otros. Normalmente está fabricado en porcelana, cerámica, metal o vidrio, y tener forma rectangular, semicircular u ovalada. Pueden estar apoyados sobre pedestal, anclados a la pared, ubicados en un mesón o mueble. Tienen suministro de agua fría y caliente, o simplemente agua fría.



*Ilustración 8.6 Lavamanos de pedestal con suministro de A.F.*



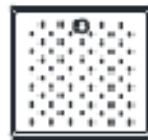
*Ilustración 8.7 Lavamanos ubicado en mueble de baño, mezclador dentro del mueble para suministro de A.F. y A.C.*



*Ilustración 8.8 Símbolo Lavamanos*

### *Ducha*

Área de forma cuadrada o rectangular que se utiliza para el aseo general del cuerpo, en el que las personas están de pie. No se acumula agua debido a que posee un desagüe ubicado a nivel de piso terminado. Se localizan los puntos de agua fría y de agua caliente 110 cm centímetros por encima del nivel de piso acabado, en el que se conectan a un mezclador, a partir del cual se prolonga un tubo a nivel, que puede variar entre 2 y 2.2 m, desde donde una poma o pulverizador descarga agua dividida en volúmenes muy finos.



*Ilustración 8.9 Símbolo ducha*

### *Calentador*

Dispositivo que utiliza energía para elevar la temperatura del agua para duchas, lavaplatos, lavamanos o calefacción. Para los proyectos de vivienda de interés social generalmente se utilizan calentadores a gas, debido a que son más económicos en su consumo. Para éstos se requiere un ducto de ventilación.

Se deben instalar puntos de agua fría y de gas para suministro. La red de suministro de agua caliente se debe diseñar a partir del calentador. Los puntos de suministro normalmente se ubican a 110 cm por encima del nivel de piso acabado y su orden depende del tipo de calentador.



Ilustración 8.10 Calentador de paso HACEB



Ilustración 8.11 Símbolo Calentador

Durante la construcción de un edificio es importante la localización precisa de los puntos de agua para el suministro de cada aparato, ya que un error en su ubicación implica un costo económico en la reubicación de la tubería y un costo de tiempo en el programa de obra por reprocesos.

Para cada aparato sanitario la NTC-1500 establece en el capítulo 6 las presiones y caudales mínimos de servicio para el adecuado funcionamiento de dichos aparatos; sin embargo, el autor Héctor Alfonso Rodríguez recomienda valores mayores para cada aparato.

Tabla 7. Caudales y presiones mínimas de operación para aparatos sanitarios

Aparato sanitario	Presión residual mínima en kPa <sup>1</sup>	Caudal mínimo en L/s
Duchas	10	0,32
Sanitario tanque	7	0,19
Sanitario fluxómetro	15	0,95 a 2,5 <sup>2</sup>
Orinal	5	0,19
Orinal fluxómetro	15	0,95
Lavamanos	5	0,19
Vertederos o lavaplatos	5	0,28
Lavadoras	5	0,32
Llaves de manguera	5	0,32

1) La presión residual mínima es la presión en la tubería a la entrada del aparato que se esté considerando.  
 2) Se presenta un amplio rango de variación debido a los diferentes tipos y diseños de válvulas de fluxómetro para sanitario.

Ilustración 8.12 Tabla caudales y presiones mínimas de operación aparatos sanitarios recomendados por la NTC-1500.

Aparato Sanitario	Q minimo	Q recomienda	Presion minima	Presion recomendada	Diametro alimentacion
	l/s	l/s	m.c.a	m.c.a	
Calentador	0,3	0,45	2	7	3/4"
Ducha	0,2	0,3	1,5	7	1/2"
Inodoro Tanque	0,3	0,35	2	7	1/2"
Lavadero	0,2 - 0,3	0,3 - 0,45	2	7	1/2"
Lavamanos	0,2	0,3	2	7	1/2"
Lavaplatos	0,25 - 0,3	0,4 - 0,45	2	7	1/2"
Lavadora	0,25 - 0,3	0,4 - 0,45	2	7	1/2"

Ilustración 8.13 Adaptación Diseños Hidráulicos, Sanitarios y de Gas en Edificaciones.

Las presiones y los caudales de servicio en los aparatos sanitarios son la base del diseño sobre la cual se debe realizar cualquier revisión del sistema de distribución, que debe cumplir con los caudales y presiones solicitadas utilizando los diámetros de menor tamaño.

## 9. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

### **PVC o policloruro de vinilo**

En su estado original es un polvo amorfo y blanquecino, luego del proceso de polimerización del monómero de cloruro de vinilo. Es un derivado del plástico. Puede ser rígido (envases, ventanas, **tuberías**, etc.) o flexible (cables, juguetes, calzados, pavimentos, recubrimientos, etc.). Una de sus propiedades más interesantes es que se puede moldear con cambios de temperatura controlados. Al aumentar la temperatura se vuelve blando y al disminuirla recupera su rigidez sin perder la forma moldeada; sin embargo, la exposición prolongada a temperaturas superiores a 27° afecta significativamente su resistencia mecánica. En este caso se recomienda aplicar un factor de corrección a las presiones máximas que puede soportar la tubería, de acuerdo con el Handbook of PVC Pipe de Unibell.

Temperatura °C	Factor de correccion presion de servicio
27	0.88
32	0.75
38	0.62
43	0.50
49	0.40
54	0.30
60	0.22

Ilustración 9.1 Factor de corrección, Handbook of PVC Pipe Unibell

Dadas sus características de resistencia y durabilidad ha ido reemplazando gradualmente las tuberías de hierro galvanizado. Actualmente en edificaciones sólo se utiliza tubería de PVC para redes de suministro de agua fría, excepto en la red contra incendio. Es un material resistente a

la abrasión, con baja densidad, buena resistencia mecánica y al impacto. Es estable e inerte, de poca inflamabilidad y para de arder si la fuente de calor se retira. Es altamente resistente a la corrosión, ya que resiste el ataque químico de sustancias, tanto interna como externamente. Es un producto de bajo costo. Es resistente a la electrólisis, por lo que se puede utilizar bajo tierra, sumergido y en presencia o contacto con metales. Sus paredes lisas son ideales para reducir las pérdidas de energía por fricción, causando aumento en la durabilidad y eficiencia al sistema.

El descubrimiento del PVC se remonta a la primera mitad del siglo XIX e involucra a varias personas. En primer lugar, a Henri Victor Regnault, quien en 1835 obtuvo 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.

*CPVC o policloruro de vinilo clorado*

Es un termoplástico que se produce por la cloración de la resina del PVC o policloruro de vinilo a través de una reacción de cloración de radicales libre, que se puede iniciar por la aplicación de energía térmica o ultravioleta, lo cual hace que el cloro reemplace el hidrógeno existente en el PVC. Esta cantidad de cloro que se introduce al material permite modificar sus propiedades. A pesar de que comparte la mayoría de las características y propiedades del PVC, presenta diferencias importantes:

- Mayor resistencia a altas temperaturas: soporta agua corrosiva a mayores temperaturas que el PVC, lo cual lo hace ideal para conducir agua caliente en edificaciones.
- Mayor ductilidad: permite una mayor flexión y resistencia a la compresión.

Se consiguen tuberías de marcas como Durman o Gerfor; sin embargo, Pavco es la compañía de mayor prestigio en el mercado nacional.

	Diametro Nominal		Peso g/m	Diametro Interno mm	Espesor de Pared Mínimo	
	mm	pulgadas			mm	pulgada
<b>RDE 11 CPVC</b> Presion de Trabajo 82°: 100 PSI	15	1/2	129	12.44	1.73	0.068
	20	3/4	218	18.17	2.03	0.080
	25	1	320	23.42	2.59	0.102
	32	1 1/4	500	28.54	3.18	0.125
	40	1 1/2	690	33.78	3.76	0.148
	50	2	1180	44.2	4.9	0.193

*Ilustración 9.2 Catalogo Pavco CPVC*

	Diámetro Nominal		Peso g/m	Diámetro Interno mm	Espesor de Pared Mínimo	
	mm	pulgadas			mm	pulgada
<b>RDE 9 PVC</b> Presion de Trabajo 23°: 500 PSI	21	1/2	218	16.6	2.37	0.093
<b>RDE 11 PVC</b> Presion de Trabajo 23°: 400 PSI	26	3/4	304	21.81	2.43	0.096
<b>RDE 13.5 PVC</b> Presion de Trabajo 23°: 315 PSI	21	1/2	157	18.18	1.58	0.062
	33	1	364	28.48	2.46	0.097
<b>RDE 21 PVC</b> Presion de Trabajo 23°: 200 PSI	26	3/4	189	23.63	1.52	0.060
	33	1	252	30.2	1.6	0.063
	42	1 1/4	395	38.14	2.01	0.079
	48	1 1/2	514	43.68	2.29	0.090
	60	2	811	54.58	2.87	0.113
	73	2 1/2	1185	66.07	3.48	0.137
	88	3	1761	80.42	4.24	0.167
	114	4	2904	103.42	5.44	0.214
<b>RDE 26 PVC</b> Presion de Trabajo 23°: 160 PSI	60	2	655	55.7	2.31	0.091
	73	2 1/2	964	67.45	2.79	0.110
	88	3	1438	82.04	3.43	0.135
	114	4	2376	105.52	4.39	0.173
	168	6	4759	155.35	6.48	0.255
<b>RDE 32.5 PVC</b> Presion de Trabajo 23°: 125 PSI	88	3	1157	83.42	2.74	0.108
	114	4	1904	107.28	3.51	0.138
<b>RDE 41 PVC</b> Presion de Trabajo 23°: 100 PSI	114	4	1535	108.72	2.79	0.110

Ilustración 9.3 Catalogo Pavco PVC

### Accesorios, soldadura y limpiadores

Debido a que las tuberías tienen longitudes máximas de fabricación para su transporte y distribución (6 o 3 m), cuando se requieren de mayor longitud o hay que realizar cambios de dirección se utilizan accesorios para unir las tuberías con soldadura.



Ilustración 9.4 Codo 90°



Ilustración 9.5 Codo 45°



*Ilustración 9.6 Unión*



*Ilustración 9.7 Tapón Soldado*

Para garantizar la calidad de las instalaciones de agua se debe llevar a cabo un proceso de limpieza y “soldado” de manera minuciosa. Antes de aplicar la soldadura se debe utilizar el limpiador para remover impurezas, polvo y otros residuos. Se aplica soldadura y la tubería y el accesorio se unen a presión. Antes de cargar la tubería con agua se debe esperar a que seque la soldadura, se recomiendan 20 minutos.

### *Válvulas*

Son dispositivos mecánicos que se pueden operar manual o automáticamente, con el fin de controlar, proteger y aislar una parte o la totalidad de la red, y los aparatos sanitarios.

- Válvulas de cheque: se emplean para evitar el retorno del agua por una tubería, ya que el flujo sólo es posible en una dirección. Pueden estar fabricadas en PVC, acero forjado, bronce, hierro fundido o latón.
- Válvulas reductoras de presión: se emplean para reducir la presión en el sistema a la salida de las válvulas.
- Válvulas reguladoras de presión: se utilizan para fijar la presión en el sistema a la salida de las válvulas.

Se instalan antes del medidor. Cuando la presión de la red externa o municipal es muy alta se calibran para obtener la presión deseada. También pueden controlar las variaciones de presión en el tramo aguas debajo de la red, con el fin de prevenir daños en la tubería o en los aparatos sanitarios que alimentan. Las variaciones de presión pueden ocurrir debido al uso simultáneo de varios aparatos, a la diferencia de niveles en edificaciones de altura, al encendido y apagado de equipos hidroneumáticos o por la presión en las redes del acueducto.

- Válvulas de seguridad: se accionan para reducir excesos de presión dejando escapar un volumen de agua. Una vez liberado el exceso de presión se cierran de manera automática. Se emplean generalmente en la salida de agua caliente de los calentadores eléctricos.
- Válvulas de paso: se recomiendan para aplicaciones en las cuales se requieren una pérdida de carga mínima y un corte de flujo rápido, en instalaciones hidráulicas y para el control del agua. Se instala normalmente debajo del lavamanos, en el tanque de los inodoros, en el calentador, en los lavaderos, entre otros.

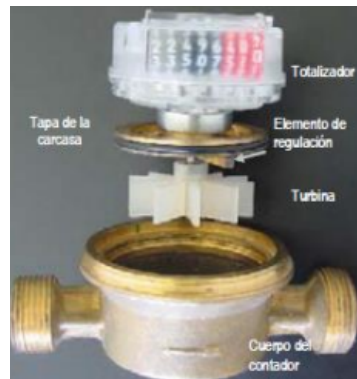


- Válvulas de globo: se utilizan para regular los caudales. Su diseño las hace ideal para abrir y cerrar rápida y eficientemente.
- Válvulas de compuerta o registros: se instalan normalmente a la entrada de baños o cocinas, en caso de que se requiera reparar las redes o los aparatos y para no desocupar la red completa. Permiten el flujo lleno con pérdidas de energía mínimas y restringen totalmente el flujo en caso de estar cerradas.

### *Medidores*

Son dispositivos que se encargan de medir el volumen de agua que se consume en un periodo de tiempo. Dependiendo de las disposiciones arquitectónicas, se pueden ubicar dentro o fuera de la edificación. Para grandes edificaciones generalmente están dentro de las edificaciones, agrupados por pisos o torres en el punto fijo. En pequeñas viviendas se ubican externamente en andenes. Normalmente se protegen ubicándolos en una caja pequeña, que puede ser de concreto o metálica, con una ventanilla que permite realizar las lecturas periódicas del consumo. En la actualidad existen dos clases de medidores: de velocidad y de volumen.

- Medidores de velocidad: se basan en el número de vueltas que efectúa una turbina, cuya velocidad es proporcional al gasto. Dependiendo de la forma como interactúa el agua con la hélice se pueden clasificar en tres tipos:
  - a. De chorro único: el agua hace contacto en un solo lugar en el perímetro del rotor.



*Ilustración 9.7 Medidor de Chorro Único*

- b. De chorro múltiple: el agua hace contacto simultáneo en diferentes puntos alrededor del perímetro del rotor.



Ilustración 9.8 Medidor de chorro múltiple

- c. De chorro axial: el flujo de agua es paralelo al eje de rotación y, por consiguiente, la pérdida es menor.
- Medidores de volumen: mecanismo de precisión que registra el número de veces que pasan las unidades de volumen. Al entrar el agua a la cámara desplaza un disco provisto de un vástago cada vez que se llena un volumen unitario previamente determinado, lo cual queda registrado en el medidor.

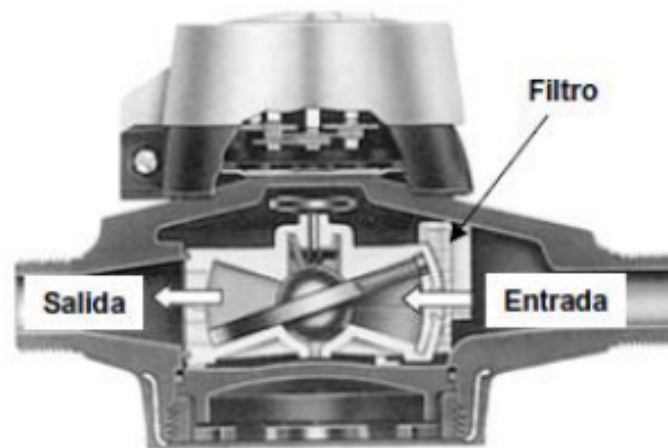


Ilustración 9.9 Medidor Volumétrico de disco oscilante, Corte Transversal

## 10. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA RED HIDRÁULICA PARA EDIFICACIONES

Antes de realizar el predimensionamiento de la red es necesario identificar las características propias de la edificación que se va a construir, con el fin de determinar la magnitud y el tipo de suministro que se requieren.

### A. TIPO DE EDIFICACIONES

El consumo de agua en edificaciones destinadas a uso residencial, estudiantil, industrial, hoteles, restaurantes, comercial o recreacional varía en función de una serie de factores, los cuales inciden en la cantidad de agua requerida simultáneamente para satisfacer la demanda de los usuarios y permitir el adecuado funcionamiento de los aparatos, que está relacionado con la variabilidad de las actividades de sus ocupantes en el transcurso del día. Para establecer los diámetros óptimos de las tuberías que conducen el agua demandada en un sistema interno de suministro en una edificación se debe determinar con anterioridad el caudal máximo probable, que es el dato base para el cálculo de las redes de distribución, pues supone una circunstancia puntual de aparatos instalados en uso simultaneo.

Identificar el tipo de edificación resulta útil para determinar de forma preliminar los componentes, las características y la magnitud de la red de distribución. En general, se pueden hacer dos clasificaciones: por uso o por sistema constructivo. Por su parte, el ingeniero Héctor Alfonso Rodríguez clasifica los tipos de edificación por uso de la siguiente manera:

#### 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, 2005).

#### 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, 2005).

#### Vivienda multifamiliar

“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, 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, 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, 2005).

### Edificaciones 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 las edificaciones mayores se exige un tanque de reserva, razón por la cual el suministro requiere sistemas indirectos” (Rodríguez, 2005).

De acuerdo con su sistema constructivo, las edificaciones más utilizadas en el país se pueden clasificar de la siguiente manera:

### Sistema industrializado

Es el sistema más utilizado para la construcción de vivienda multifamiliar de estratos altos. Son edificaciones compuestas estructuralmente de losas de entrepiso macizas y muros vaciados en concreto. Generalmente se emplea para viviendas multifamiliares y oficinas. Está compuesto del tanque de almacenamiento y el equipo de bombeo.

### Sistema convencional

Son edificaciones compuestas estructuralmente por sistemas de pórticos con columnas/muros en concreto y placas de entrepiso aligeradas. Sus muros divisorios son elementos no estructurales que se pueden construir en mampostería o drywall. Se utiliza en casi todo tipo de edificaciones, según su uso, por lo cual su sistema de distribución puede ser directo o indirecto.

### Sistema de mampostería estructural

Es el sistema más utilizado en el país para la construcción de vivienda multifamiliar para estratos bajos, debido a su bajo costo (vivienda de interés social\* o vivienda de interés prioritario\*\*). Estructuralmente las edificaciones están compuestas por losas macizas de concreto y muros de carga, los cuales son mayoritaria o totalmente construidos en mampostería, aunque en algunos casos se diseñan algunos muros en concreto.

\* Es aquella vivienda que reúne los elementos que aseguran su habitabilidad, estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción cuyo valor máximo es de ciento treinta y cinco salarios mínimos legales mensuales vigentes

\* Es aquella vivienda de interés social cuyo valor máximo es de setenta salarios mínimos legales mensuales vigentes.

## B. TRAZADO DE LA RED

La red de distribución de una edificación comprende desde el punto de entrega de la red municipal hasta el último aparato del proyecto. Sin embargo, para efectos de diseño, se debe diferenciar entre la red externa y red interna.

### *Red externa en planta*

Está comprendida entre el punto de entrega al lote por parte de la red municipal hasta la entrada a la edificación. Se recomienda iniciar el trazado de la red partiendo de la acometida, pasando por la ubicación del equipo o equipos de bombeo (si es necesario) hasta el punto de ingreso a la edificación o edificaciones. Generalmente la ubicación de la acometida depende del trazado externo de la red municipal ya existente. La ubicación del tanque de almacenamiento y de los equipos de bombeo se define en el diseño arquitectónico. Si el proyecto sólo tiene una edificación, el equipo de bombeo se ubica en el sótano. Si son varias edificaciones, se recomienda que el tanque y los equipos se ubiquen en un punto equidistante de las edificaciones para disminuir la magnitud de recorridos horizontales y, por lo tanto, las presiones de servicio requeridas. La red de distribución que abastece a más de un edificio se debe equipar con una válvula de corte separada para cada edificio, de tal manera que el suministro se pueda abrir individualmente. La tubería de abastecimiento no se debe ubicar por fuera del predio de propiedad del edificio.

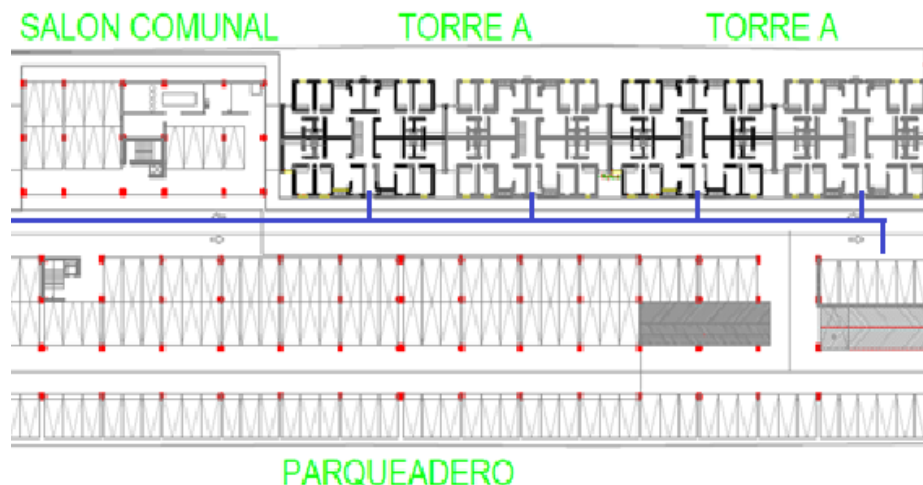


Ilustración 10.1 Plano de Implantación Arquitectónica de un Proyecto de Vivienda

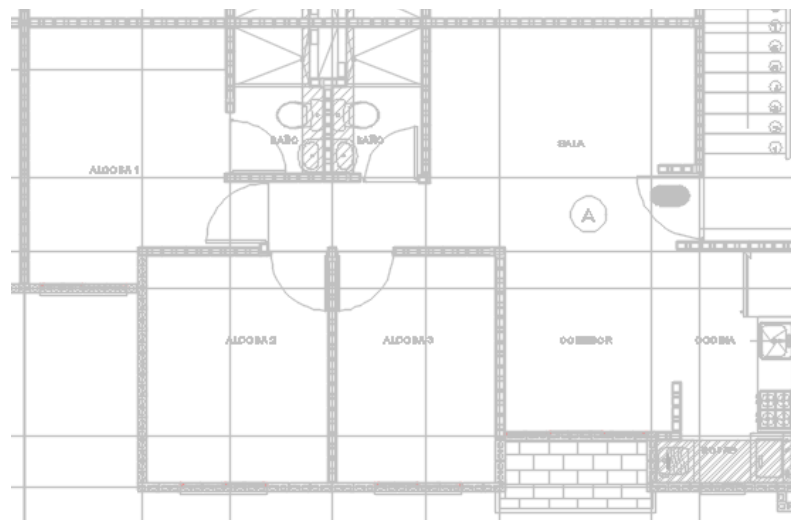
Se busca que el trazado de una red, externa o interna, sea de longitud mínima; sin embargo, durante el periodo de diseño es importante realizar comités de coordinación entre los diseñadores para identificar posibles interferencias o cruces con otras redes. El responsable de la revisión y coordinación de las redes de un proyecto debe ser la empresa constructora, lo cual debe realizar al inicio de la obra. No obstante, es común que estos procesos no se

llevan a cabo, de ahí que se encuentren problemas de interferencias durante el proceso de tendido de tubería, tanto de aguas negras y lluvias como eléctricas, de gas, de suministro o contra incendio. Durante el periodo de diseño se recomienda exigir a la empresa constructora un proceso de coordinación en el que se establezca claramente el trazado de la red de presión, teniendo en cuenta los trazados de las otras redes y sus respectivas cajas de inspección.

#### *Red interna en planta*

Es importante que la red de abastecimiento que llega al medidor principal del edificio se trace de tal manera que no ingrese a las unidades privadas (apartamentos u oficinas), para garantizar que si se requiere hacer una reparación o mantenimiento no se intervenga la propiedad privada.

El diseño arquitectónico debe establecer espacios o ductos para instalar la tubería vertical y los medidores de cada unidad. Dichos ductos no pueden interferir con la estructura del edificio, verificando que el área establecida por el diseño sea la requerida para los medidores y las respectivas conexiones a la red matriz, teniendo en cuenta las redes de los demás servicios. Si no es así, se debe coordinar con el diseñador arquitectónico para no tener inconvenientes durante la construcción. En las áreas de los ductos es importante tener en cuenta que se debe instalar la tubería de suministro de agua a una distancia mínima de 0.30 m, a partir del diámetro exterior del tubo respecto a la tubería de desagüe. Adicionalmente, se debe instalar una válvula de corte a la salida de cada medidor hacia la instalación interna.



*Ilustración 10.2 Planta arquitectónica de un apartamento tipo*

Para cada piso, la ubicación y altura de los aparatos sanitarios está definida por los planos arquitectónicos. El trazado de una red consiste en buscar las longitudes mínimas para reducir su costo. Sin embargo, es posible que de acuerdo con el sistema estructural el trazado de la red se pueda modificar. Por ejemplo, para sistemas de muros de carga la

tubería no puede interferir en la transmisión de cargas muro - placa - muro (ilustración 10.4). En el trazado para un proyecto de muros de carga en mampostería (ilustración 10.3) se puede observar que la tubería debe rodear el muro, resaltado en verde, de acuerdo con su condición de elemento estructural. Aunque lo ideal sería que la tubería atravesara el muro en la ubicación de la flecha roja, para reducir la longitud de la tubería instalada.

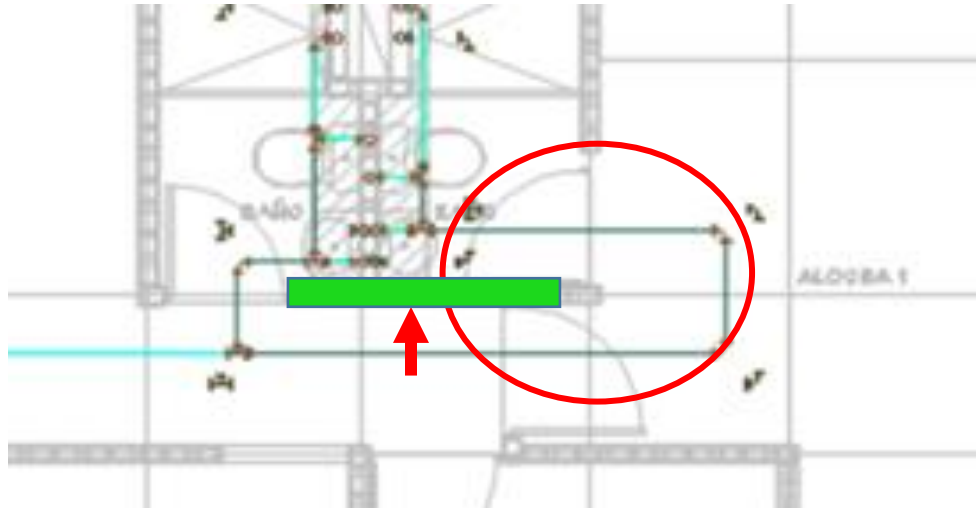


Ilustración 10.3 Planta arquitectónica apartamento tipo con red trazada

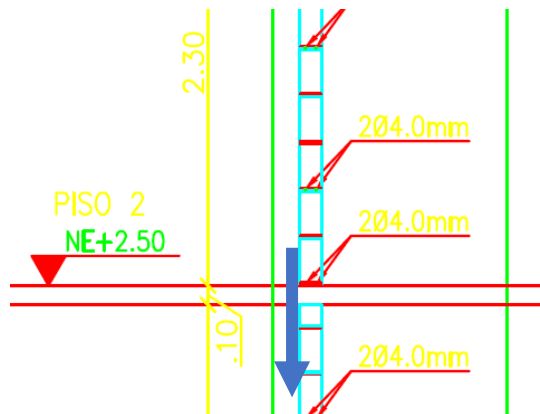


Ilustración 10.4 Esquema estructural muro-placa-muro, para Sistema estructural de muros de carga.

#### Isométrico de la red

Es una proyección en tres dimensiones de la red a 45°. Este trazado normalmente se hace para cuantificar las dimensiones de las tuberías, los detalles y los aspectos requeridos en la construcción. El término isométrico se deriva del griego “isos” y “métrico”, que significa

“igual medida”, debido a que la escala de medición es la misma a lo largo de cada eje, particularidad que no se obtiene en otras formas de proyección gráfica. La perspectiva isométrica permite representar a escala, pero sin reflejar la disminución aparente que produce la distancia entre el ojo humano y el objeto.

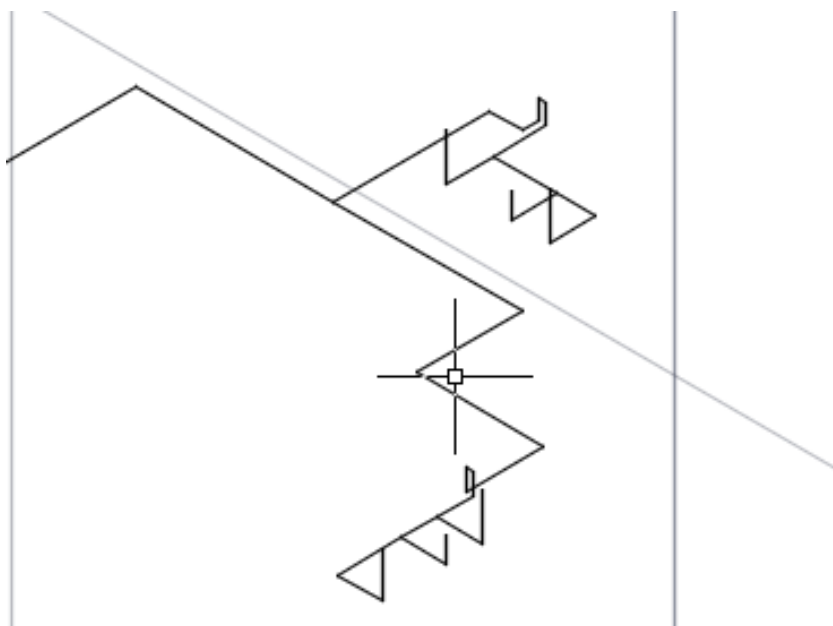


Ilustración 10.5 Esquema isométrico preliminar para una red interna de suministro

### C. ESTIMACIÓN DE CAUDALES

Como los aparatos en una red no funcionan simultáneamente, generalmente se estiman los caudales en todos los tramos de la red a través de una metodología que determina una probabilidad de funcionamiento coincidente. A continuación se definen los conceptos básicos para el predimensionamiento de una red.

#### *Definiciones*

- *Caudal máximo posible.* Se establece con base en la suma de los caudales mínimos requeridos para el funcionamiento adecuado de los aparatos sanitarios. De acuerdo con la red que se tenga, se estima como la suma de los caudales solicitado por cada aparato.
- *Caudal máximo probable.* Es el caudal en un tramo de la red suponiendo un uso normal de los aparatos. Como no funcionan simultáneamente, se calcula multiplicando el caudal máximo posible por un factor de simultaneidad, el cual es probabilístico. Se utiliza en el predimensionamiento de la red para determinar los diámetros tramo a tramo.
- *Caudal de consumo diario.* Es el caudal que consume en un día un habitante de un tipo de edificación determinado.
- *Unidades de abastecimiento o consumo.* Se definen como el caudal máximo solicitado equivalente a un  $1 \text{ pie}^3/\text{minuto}$ , es decir, un factor de seguridad de 2,5 respecto al caudal



mínimo requerido por un aparato para su adecuado funcionamiento. La NTC-1500 establece valores de referencia según el tipo de edificación.

Tabla 8. Unidades de consumo por aparatos sanitarios<sup>1</sup>

Aparatos	Ocupación	Tipo de control del suministro	Unidades de consumo
Inodoro	Público	Flujómetro	10
Inodoro	Público	Tanque de limpieza	5
Orinal	Público	Flujómetro de $\Phi = 2,5$ cm	10
Orinal	Público	Flujómetro de $\Phi = 2,0$ 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	Flujómetro	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
Lavaplatos eléctricos	Pública	Llave	4
Lavaplatos eléctricos	Privado	Llave	3
Lavaplatos eléctricos	Público	Llave	6

1) Los valores de unidades relacionados representan la carga total para el sistema de abastecimiento de agua. Los valores individuales tanto para agua fría como para agua caliente en aparatos que incluyan las dos condiciones se debe tomar como % del valor total relacionado para el aparato.

Ilustración 10.6 Unidades de consumo establecido por la NTC 1500

Cuando una edificación tiene varios aparatos sanitarios instalados cada uno presenta un valor de caudal instantáneo mínimo, correspondiente al caudal de descarga propio del aparato. Sin embargo, el consumo real de la red de distribución varía dependiendo del tipo de edificación. En viviendas u oficinas el consumo real es menor, ya que en condiciones normales nunca se presenta el funcionamiento simultáneo de todos los aparatos, pero en cuarteles o colegios es posible que se presente el uso simultáneo de todos o casi todos los aparatos instalados. El problema radica en establecer cuántos aparatos sanitarios funcionarán, lo cual es prácticamente imposible debido a la utilización discontinua por frecuencias variadas, costumbres y otras variables socioeconómicas que cambian de acuerdo con la población. Sin embargo, existen métodos para realizar aproximaciones a los caudales esperados en un sistema.

La NTC-1500 dedicada a la regulación del diseño de instalaciones hidráulicas y sanitarias internas en edificaciones recomienda establecer el caudal máximo probable de una edificación mediante el empleo de la metodología probabilística de la curva de Hunter, que corresponde a un método de probabilidades propuesto en Estados Unidos. Cabe aclarar que dicha curva se realizó con base en estudios y mediciones realizadas en ese país; por lo tanto,

es posible que no se ajuste a las condiciones, características y patrones de consumo de la población nacional, lo cual es materia de estudio en la actualidad.

A lo largo del tiempo han surgido diversas metodologías para calcular los caudales de acuerdo con el tipo de edificación e instalación. Su uso depende de las características que se deseen satisfacer en el sistema que se va a diseñar; sin embargo, la NTC-1500 exige el uso del método de Hunter modificado.

#### *Casos de certeza total*

Para edificaciones de tipo colectivo como colegios, escuelas, barracas o cuarteles, en las que se tiene seguridad de que en un periodo de tiempo determinado se utilizan simultáneamente todos o algunos aparatos, simplemente se debe calcular la red en función del caudal máximo posible propio de esa red.

#### Métodos empíricos

##### *Método británico*

Se basa en la utilización de tablas de “Probables demandas simultáneas”, en las que se suponen múltiples condiciones diferentes de consumo. En la tabla 1 se indican los caudales de cada aparato sanitario. En la tabla 2 se estiman los caudales sumando las demandas de todos los aparatos que puede servir un ramal de tubería en el sistema, en el que se puede observar la probable demanda máxima simultánea.

##### *Método de Dawson y Bowman*

Se basa en el método británico. A partir de tablas que contienen el número total de aparatos sanitarios de la edificación y de acuerdo con el tipo de edificación (unifamiliar pequeña, unifamiliar grande, etc.) se especifican la cantidad y el tipo de aparatos sanitarios que se podrían utilizar de forma simultánea para determinar caudales máximos probables.

#### Métodos semiempíricos

##### *Método del factor de simultaneidad*

Suponiendo los valores de los caudales para cada aparato sanitario se aplica un factor que evalúa la simultaneidad de su funcionamiento. Se determina un caudal máximo probable teniendo en cuenta que no se presentará un funcionamiento de manera simultánea. Teniendo el factor de simultaneidad se puede calcular el caudal máximo probable. De acuerdo con varios autores, dicho factor depende de características de la red como su tipo de uso, común o privado, y de su forma de alimentación.

$$F.S. = \frac{Q \text{ máximo probable}}{Q \text{ máximo posible}}$$

*Ecuación 10.1 Ecuación del factor de simultaneidad.*

### *Método racional*

Inicialmente se deben establecer los caudales para los aparatos, se suman y se aplica un factor de simultaneidad similar al que se utilizó en el método del factor de simultaneidad, el cual depende del número de viviendas de la edificación (N). Para su aplicación, obviamente, se tiene un distribuidor común a un determinado número de unidades de características similares.

$$F.S. = \frac{N + 19}{10 \times (N + 1)}$$

*Ecuación 10.2 Ecuación del factor de simultaneidad, método racional.*

## Métodos probabilísticos

### *Método de Hunter*

Desarrollado por Roy Hunter en Estados Unidos, fue la primera aplicación de la teoría de la probabilidad para determinar los caudales probables en las redes hidráulicas en edificaciones. Se considera un método preciso y válido. Se basa en que sólo pocos aparatos de todos los que se tienen en un sistema se utilizan de forma simultánea en un instante dado, dependiendo de:

- Caudal del aparato
- Frecuencia de uso
- Duración de uso

Las unidades de consumo corresponden al caudal máximo que demanda un lavamanos de tipo privado por grifo,  $1 \frac{\text{pie}^3}{\text{minuto}}$ . Para estimar los caudales para los tramos de una red, primero se deben clasificar los aparatos sanitarios asignándoles unidades de consumo, luego se debe determinar para cada tramo de la red el total de unidades de consumo que se debían abastecer, sumando las unidades de consumo de los aparatos que se van a alimentar y mediante la ecuación de Hunter se determina el caudal máximo probable del tramo.

### *Método de Hunter modificado*

La obtención de las unidades de consumo se estima como en el método de Hunter. La diferencia radica en la lectura del caudal máximo probable, en el que se presenta una reducción del caudal promedio de los aparatos respecto al método original. Esta modificación se realiza ya que se considera que el valor del caudal máximo probable por el método original es demasiado alto y, por lo tanto, costoso. La NTC-1500 sugiere operar con gastos normales o promedios para los aparatos sanitarios.

El caudal máximo probable en función de las unidades de consumo se puede establecer mediante la lectura directa de la curva de demanda de Hunter, en la que se reduce sistemáticamente el caudal promedio respecto al método original.

También se pueden estimar los caudales a través de las ecuaciones estimadas por medio de correlación obtenidas por Héctor Alfonso Rodríguez:

**Entre 3 < UC < 240**

- $Q = 0.1163 UC^{0.6875}$ , para aparatos comunes
  - Ecuación 10.3 Ecuación de caudal **entre 3 < UC < 240**, Hunter modificado
- $Q = 0.7243 UC^{0.384}$ , para aparatos con fluxómetro
  - Ecuación 10.4 Ecuación de caudal **entre 3 < UC < 240**, Hunter modificado

**Entre 260 < UC < 1000**

- $Q = 0.074 UC^{0.7504}$ , para aparatos comunes
  - Ecuación 10.5 Ecuación de caudal **entre 260 < UC < 1000**, Hunter modificado
- $Q = 0.3356 UC^{0.5281}$ , para aparatos con fluxómetro
  - Ecuación 10.6 Ecuación de caudal **entre 260 < UC < 1000**, Hunter modificado

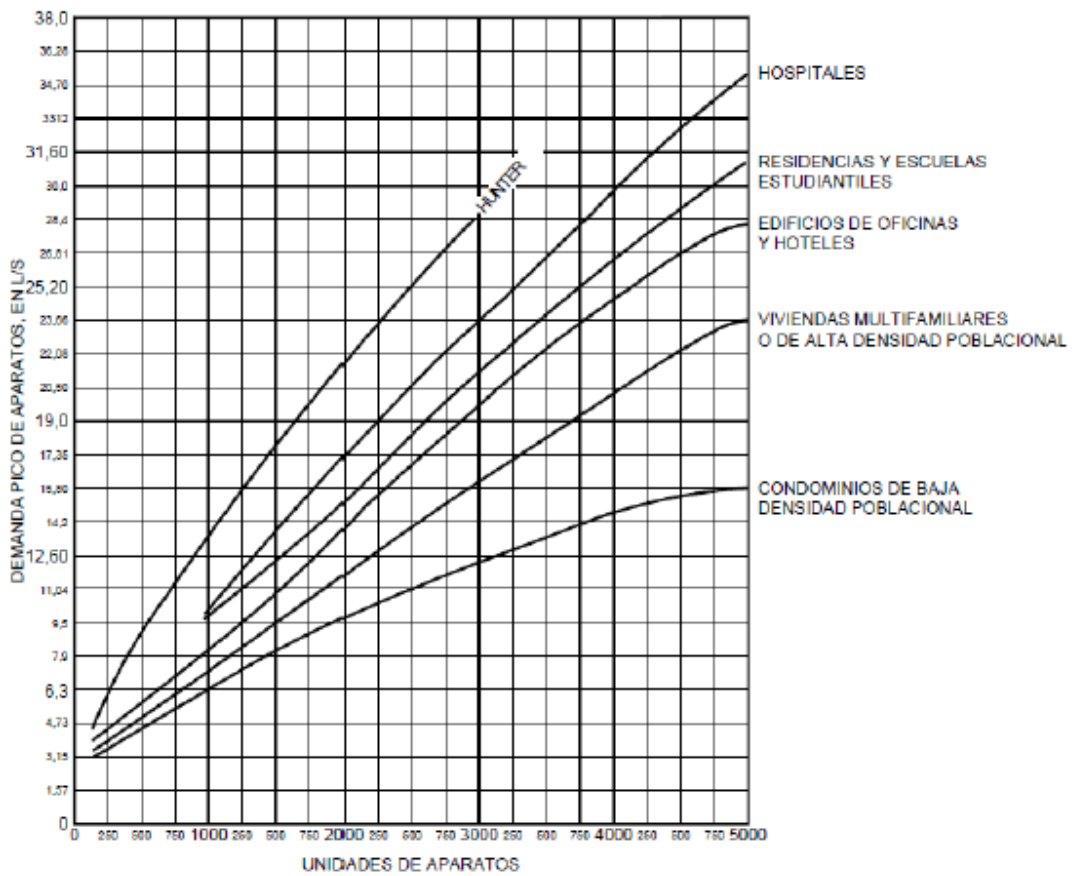


Ilustración 10.7 Grafica de Hunter NTC 1500

## D. PASOS PARA DISEÑAR UNA RED EN EDIFICACIÓN

Se hizo el diseño de un apartamento tipo para un proyecto de vivienda de interés social en la sabana de Bogotá, estimando los caudales con el método de factor de simultaneidad y el método de Hunter modificado, los cuales utiliza continuamente en su ámbito laboral el autor de este estudio. El proceso se realizó desarrollando los siguientes pasos para ambos métodos:

### *Pasos para diseño*

1. Identificar los aparatos sanitarios y el ducto para bajante en el diseño arquitectónico.
2. Trazar la red de distribución de agua para el apartamento.
3. Definir la altura de los puntos de entrega para los aparatos sanitarios.
4. Dibujar el esquema isométrico de la red en el apartamento.
5. Plantear los tramos de red para análisis.
  
6. *A- Método de factor de simultaneidad*
  - Asignar los factores de simultaneidad para cada tramo, de acuerdo con el número de aparatos alimentados.
  - Calcular el caudal máximo probable, de acuerdo con la ecuación 10.1.
  - Calcular el diámetro de la tubería para el tramo analizado, verificando que la velocidad de flujo no sea menor que  $0.7 \frac{m}{s}$ , ni mayor que  $2.0 \frac{m}{s}$ , según las indicaciones de la NTC-1500 para garantizar las condiciones de salubridad.
  
6. *B- Método de Hunter modificado*
  - Asignar las unidades de consumo a cada tramo, de acuerdo con el número de aparatos alimentados (ilustración 10.6).
  - Calcular el caudal máximo probable, de acuerdo con las ecuaciones de correlación obtenidas por el método de Hunter modificado.
  - Calcular el diámetro de la tubería para el tramo analizado, verificando que la velocidad de flujo no sea menor que  $0.7 \frac{m}{s}$ , ni mayor que  $2.0 \frac{m}{s}$ , según las indicaciones de la NTC-1500 para garantizar las condiciones de salubridad.
  
7. Seleccionar los diámetros para los tramos de la red, de acuerdo con los resultados obtenidos.
8. Calcular las pérdidas de energía entre el medidor de entrada al apartamento y el aparato más desfavorable, en este caso la ducha 1.  
Una vez obtenidos los diámetros de los tramos de la red, es necesario realizar el análisis de energía para el aparato con condiciones hidráulicas más desfavorables, de acuerdo con la ecuación de Bernoulli (Ecuación 6.2), para garantizar la presión mínima de servicio del aparato. Normalmente el aparato con condiciones hidráulicas más desfavorables se encuentra más alejado respecto al medidor del apartamento.
9. Calcular la energía mínima en el sistema para el funcionamiento adecuado del aparato de mayor desfavorabilidad (ecuación 6.2).
10. Calcular los caudales máximos probables para un piso de la edificación.

11. Calcular los diámetros mínimos para los tramos de red de la bajante, diferenciando por piso y adicionando un tramo entre el tanque de almacenamiento y la válvula de corte a la entrada de la edificación.
12. Calcular las pérdidas de energía en el suministro, desde el tanque de almacenamiento hasta el centro de medidores en el piso 5.
13. Calcular la energía mínima en el sistema para el funcionamiento adecuado del aparato de mayor desfavorabilidad (ecuación 6.2).

## E. EJEMPLO DE DISEÑO

1. Para diseñar la red de suministro de la edificación presentada se debe contar con el diseño arquitectónico, incluyendo la ubicación de los aparatos sanitarios. Para el apartamento tipo tenemos dos baños con sanitarios de tanque, duchas y lavamanos, la cocina contiene lavaplatos y el área de ropas tiene lavadora y lavadero. En el sitio en el que se localizó el ducto se debe tener en cuenta el medidor del apartamento y su respectiva válvula de corte (ilustración 10.8)

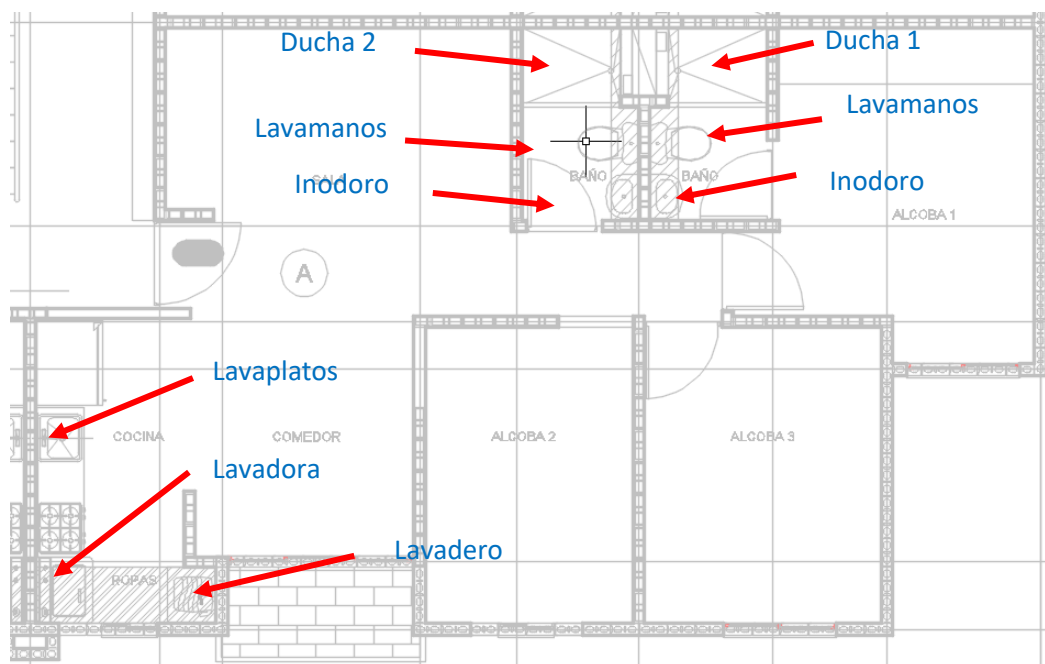


Ilustración 10.8 Planta arquitectónico apartamento tipo

2. Una vez definida la arquitectura se traza la red de acuerdo con la ubicación de los aparatos y las condiciones estructurales del proyecto (ilustración 10.9).

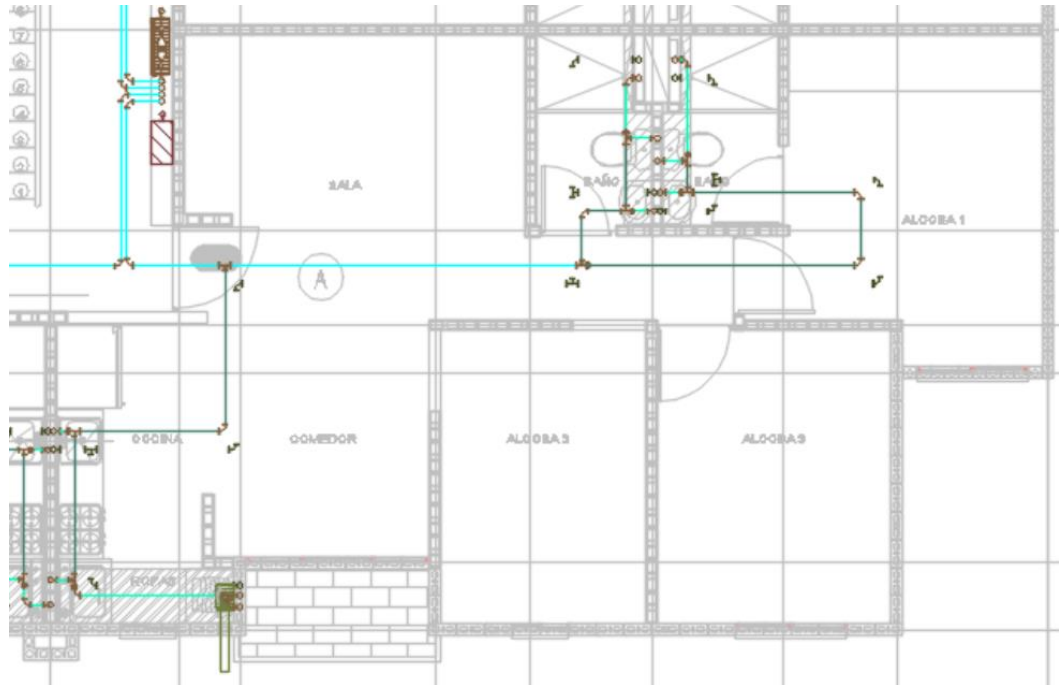


Ilustración 10.9 Planta arquitectónica apartamento tipo con red trazada

- Es importante que el diseñador arquitectónico defina la altura de entrega de los puntos de suministro para cada aparato sanitario. Para el presente ejemplo de diseño se definen las alturas de la siguiente manera:

Ducha = 2 m

Inodoros = 0.2 m

Lavamanos = 0.6 m

Lavadero = 1.10 m

Lavadora = 0.90 m

Lavaplatos = 0.60 m

La edificación tiene 5 pisos y 2 apartamentos por piso; sin embargo, se puede analizar un apartamento inicialmente, el cual cuenta con 9 aparatos.

- Se hace el trazado del isométrico, adicionando la altura de los puntos de entrega de la red de distribución a los aparatos.
- Se realiza la diferenciación de los tramos de tubería de acuerdo con el número de aparatos alimentados para cada tramo. Por ejemplo, el tramo entre el lm 1 (lavamanos 1) hasta el punto b debe alimentar tres aparatos, correspondientes a lm 1, wc 1 (inodoro) y dhc 1 (ducha), mientras que el tramo entre los puntos b y d alimenta 6 aparatos: lm 1, wc 1, dhc 1, lm 2, wc 2 y dhc 2, por lo cual los caudales en los dos tramos son diferentes (ilustración 10.10).

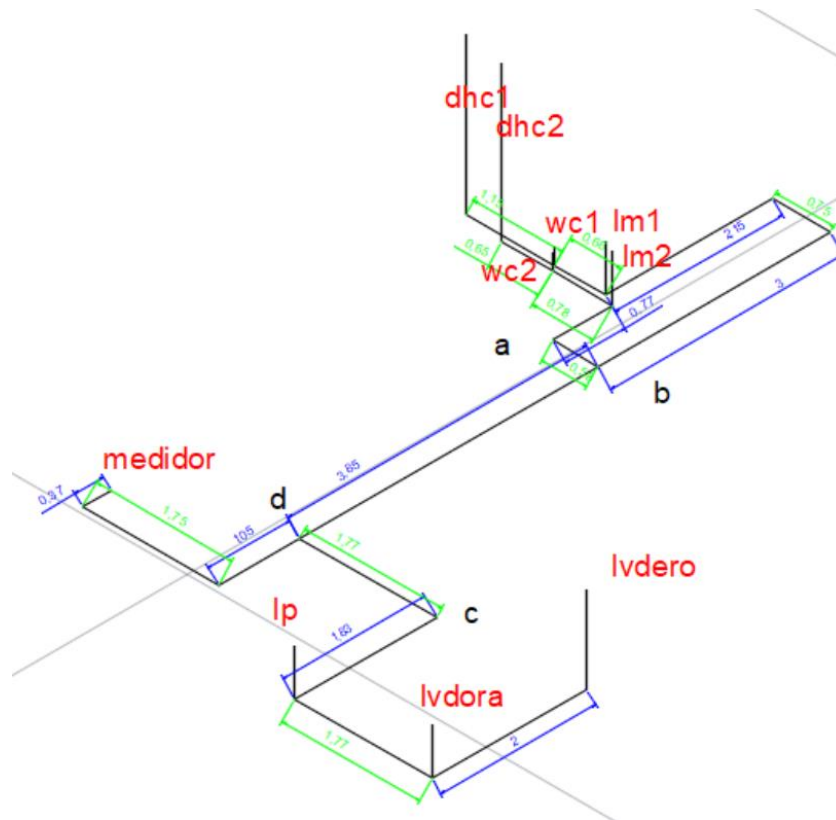


Ilustración 10.10 Isométrico apartamento tipo

6. Se estiman los caudales por el método de factor de simultaneidad (ilustración 10.11) y el método de Hunter modificado (ilustración 10.12), como parte del predimensionamiento.

Para calcular el método del factor de simultaneidad se realiza el siguiente procedimiento:

- Calcular el factor de simultaneidad utilizando la ecuación 10.2.
- Calcular el caudal máximo posible, que corresponde a la suma de caudales requeridos en los diferentes tramos, suponiendo el uso simultáneo de todos los aparatos, a partir de las tablas descritas en las ilustraciones 8.12 y 8.13.
- Calcular el caudal máximo probable, que corresponde al producto entre el factor de simultaneidad y el caudal máximo posible.
- Una vez calculado el caudal máximo probable, se realiza un proceso iterativo para determinar el diámetro para el cual se cumple con los condicionantes de velocidad máxima (2.0 m/s) y velocidad mínima (0.7 m/s).



METODO FACTOR SIMULTANEIDAD									
TRAMO	NO APARAROS ANITARIOS	FACTOR DE SIMULTANEIDAD	Q MAXIMO POSIBLE	Q MAXIMO PROBABLE	DIAMETRO MINIMO	DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO EFECTIVO	VELOCIDAD REAL
			LPS	LPS	M	IN	IN	M	M/S
dhc1 - wc1	1	1,000	0,2	0,200	0,011284	0,4442	1/2	0,01818	0,77046
wc1 - lm1	2	1,000	0,5	0,500	0,017841	0,7024	1/2	0,01818	1,92616
lm1 - b	3	0,707	0,7	0,495	0,017750	0,6988	1/2	0,01818	1,90651
dhc2 - wc2	1	1,000	0,2	0,200	0,011284	0,4442	1/2	0,01818	0,77046
wc2 - lm2	2	1,000	0,5	0,500	0,017841	0,7024	1/2	0,01818	1,92616
lm2 - a	3	0,707	0,7	0,495	0,017750	0,6988	1/2	0,01818	1,90651
a - b	3	0,707	0,7	0,495	0,017750	0,6988	1/2	0,01818	1,90651
lvdora - lvdora	1	1,000	0,3	0,300	0,013820	0,5441	1/2	0,01818	1,15570
lvdora - lp	2	1,000	0,6	0,600	0,019544	0,7695	3/4	0,02363	1,36815
lp - c	3	0,707	0,9	0,636	0,020127	0,7924	3/4	0,02363	1,45092
c - d	3	0,707	0,9	0,636	0,020127	0,7924	3/4	0,02363	1,45092
b - d	6	0,447	1,4	0,626	0,019960	0,7858	3/4	0,02363	1,42698
d - medidor	9	0,354	2,3	0,814	0,022767	0,8963	3/4	0,02363	1,85658

Ilustración 10.11 Tabla de cálculo Método Factor de Simultaneidad

Para calcular por el método de Hunter modificado se realiza el siguiente proceso:

- Establecer las unidades de consumo para cada tramo de tubería, de acuerdo con la tabla 8 de la NTC-1500 (ilustración 10.6).
- Calcular el caudal máximo probable a partir de las ecuaciones de Hunter modificado, dependiendo del número de unidades de consumo que tenga el tramo (ecuaciones 10.3, 10.4 y 10.5).
- Una vez se calcula el caudal máximo probable se realiza un proceso iterativo para determinar el diámetro para el cual se cumple con los condicionantes de velocidad máxima (2.0 m/s) y velocidad mínima (0.7 m/s).

METODO HUNTER MODIFICADO								
TRAMO	NO APARAROS ANITARIOS	UNIDADES DE CONSUMO	Q MAXIMO PROBABLE	DIAMETRO MINIMO	DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO EFECTIVO	VELOCIDAD REAL
			LPS	M	IN	IN	M	M/S
dhc1 - wc1	1	2	0,18730	0,010920	0,4299	1/2	0,01818	0,72154
wc1 - lm1	2	5	0,35166	0,014962	0,5891	1/2	0,01818	1,35470
lm1 - b	3	6	0,39862	0,015930	0,6272	1/2	0,01818	1,53561
dhc2 - wc2	1	2	0,18730	0,010920	0,4299	1/2	0,01818	0,72154
wc2 - lm2	2	5	0,35166	0,014962	0,5891	1/2	0,01818	1,35470
lm2 - a	3	6	0,39862	0,015930	0,6272	1/2	0,01818	1,53561
a - b	3	6	0,39862	0,015930	0,6272	1/2	0,01818	1,53561
lvdora - lvdora	1	3	0,24751	0,012553	0,4942	1/2	0,01818	0,95350
lvdora - lp	2	6	0,39862	0,015930	0,6272	1/2	0,01818	1,53561
lp - c	3	8	0,48580	0,017586	0,6924	1/2	0,01818	1,87144
c - d	3	8	0,48580	0,017586	0,6924	1/2	0,01818	1,87144
b - d	6	12	0,64197	0,020216	0,7959	3/4	0,02363	1,46386
d - medidor	9	20	0,91209	0,024097	0,9487	1	0,0302	1,27331

Ilustración 10.12 Tabla de cálculo Método Hunter Modificado

7. El método de factor de simultaneidad en el área de cocina arroja diámetros de mayor tamaño que el método de Hunter modificado; sin embargo, para el tramo del medidor da

como resultado un diámetro de menor tamaño, por lo cual se seleccionan los diámetros obtenidos por el método de Hunter modificado.

- Una vez se determinan los diámetros mínimos con los métodos de predimensionamientos se realiza un análisis sobre el aparato con las condiciones hidráulicas más desfavorables, como se mencionó. Si se satisface la presión mínima de servicio del aparato con las condiciones más desfavorables, la red funcionará en su totalidad con presiones de servicio adecuadas. Para el ejemplo de diseño, el aparato con las condiciones hidráulicas más desfavorables es la ducha número 1.

CARACTERISTICAS RED APARATO MAS DESFAVORABLE					
TRAMO	LONGITUD (M)	ACCESORIOS	CANTIDAD	DIAMETRO (IN)	VELOCIDAD (M/S)
medidor - d	3,17	Medidor	1	1	1,27331
		Valvula Check	1		
		codo 90°	2		
		tee	1		
d - b	3,85	tee	1	3/4	1,46386
b - lm1	5,9	codo 90°	2	1/2	1,53561
		tee	1		
lm1 - wc1	0,66	tee	1	1/2	1,35470
wc1 - dhc1	2,15	codo 90°	1	1/2	0,72154

Ilustración 10.13 Tabla Características red aparato más desfavorable.

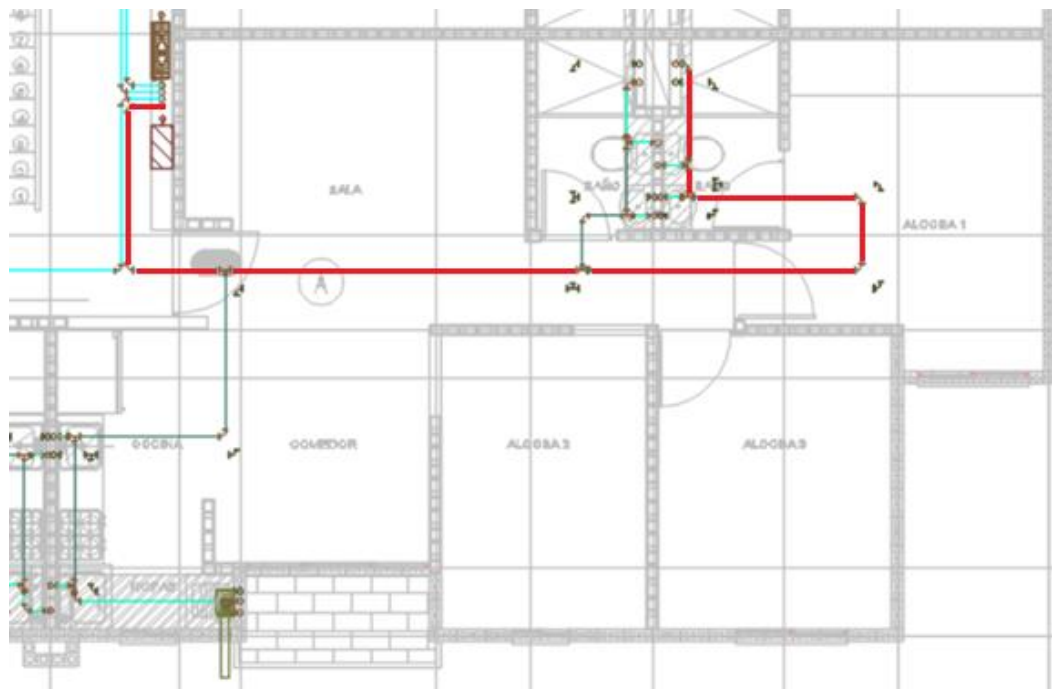


Ilustración 10.14 Planta arquitectónica apartamento tipo con red trazada

PERDIDAS DE ENERGIA POR FRICCION					
TRAMO	LONGITUD (M)	DIAMETRO EFECTIVO (m)	VELOCIDAD REAL (m/s)	No Reynolds	hf (m)
medidor - d	3.17	0.0302	1.27	33702.0	0.2071
d - b	3.85	0.02363	1.46	30316.4	0.4344
b - lm1	5.9	0.01818	1.54	24467.5	0.9961
lm1 - wc1	0.66	0.01818	1.35	21585.0	0.0890
wc1 - dhc1	2.15	0.01818	0.72	11496.6	0.0939
					<b>1.8206</b>

Ilustración 10.15 Perdidas de energía por fricción red aparato más desfavorable.

PERDIDAS DE ENERGIA POR ACCESORIOS						
TRAMO	ACCESORIOS	CANTIDAD	DIAMETRO (IN)	VELOCIDAD (M/S)	K	hf (m)
medidor - d	Medidor	1	1	1.27		6.5031
	Valvula Check	1			2.5	0.2066
	codo 90°	2			0.9	0.1487
	tee (DIRECTO)	1			0.15	0.0124
d - b	tee (DIRECTO)	1	3/4	1.46	0.15	0.0164
b - lm1	codo 90°	3	1/2	1.54	0.9	0.3245
lm1 - wc1	tee (DIRECTO)	1	1/2	1.35	0.15	0.0140
wc1 - dhc1	codo 90°	1	1/2	0.72	0.9	0.0239
						<b>7.2497</b>

Ilustración 10.16 Perdidas de energía por accesorios red aparato más desfavorable.

9. La diferencia entre las cotas del medidor y la altura del aparato más desfavorable ( $Z_k$ ) es de 2 m, de acuerdo con el punto (3). La presión de servicio recomendada para la ducha ( $P_k/\gamma$ ) es de 7 m, de acuerdo con la recomendación de Héctor Alfonso Rodríguez (Ilustración 8). A esto se agregan las pérdidas por fricción y accesorios ( $hf + hf_{acc.}$ ). Al realizar la suma de energías requeridas en unidades de metros de columna de agua se obtiene la energía mínima necesaria de la red para el funcionamiento adecuado del aparato sanitario más desfavorable.

ENERGIA MINIMA EN LA RED		
Zs =	0	m
Zk =	2	m
Pk/γ =	7	m
hf =	1,821	m
hf acc. =	7,250	m
	<b>18,070</b>	m

Ilustración 10.17 Energía mínima para el adecuado funcionamiento de la red apartamento.

10. Para calcular la tubería vertical se utiliza el caudal máximo posible, obtenido en la tabla de factor de simultaneidad, y se multiplica por el FS para el número de aparatos por apartamento, obteniendo el caudal máximo probable y multiplicándolo por el número de apartamentos por piso (2).

CALCULO EN TUBERIA VERTICAL	
# APARATOS / APARTAMENTO	9
Q MAXIMO POSIBLE (Ips)	2,3
FS	0,354
Q MAXIMO PROBABLE Ips	1,6284

Ilustración 10.18 Calculo Q máximo probable (Ips)

11. Se realiza el cálculo de los diámetros mínimos para cada tramo de tubería vertical, teniendo en cuenta dos apartamentos por piso.

TRAMO	Q (LPS)	Q (M3/S)	DIAMETRO MINIMO (M)	DIAMETRO MINIMO (IN)	DIAMETRO NOMINAL (IN)	DIAMETRO EFECTIVO (M)	VELOCIDAD REAL (M/S)
5 - 4	1,6284	0,0016284	0,0321974	1,267614	1 1/4	0,03814	1,42531
4 - 3	3,2568	0,0032568	0,0455340	1,792676	2	0,05458	1,39198
3 - 2	4,8852	0,0048852	0,0557675	2,195571	2 1/2	0,06607	1,42490
2 - 1	6,5136	0,0065136	0,0643948	2,535227	2 1/2	0,06607	1,89986
1 - suministro	8,142	0,008142	0,0719955	2,834470	3	0,08042	1,60292

Ilustración 10.19 Tabla cálculo de diámetros mínimos, método Factor de Simultaneidad.

12. Luego se calculan las pérdidas por accesorios y energía:

PERDIDAS DE ENERGIA POR FRICCION					
TRAMO	LONGITUD (M)	DIAMETRO EFECTIVO (m)	VELOCIDAD REAL (m/s)	No Reynolds	hf (m)
5 - 4	2,2	0,03814	1,39198	46529,58613	0,127108721
4 - 3	2,2	0,05458	1,89986	90880,45171	0,143761874
3 - 2	2,2	0,06607	1,92351	111381,4808	0,116644561
2 - 1	2,2	0,06607	1,55079	89798,85411	0,079327537
1 - suministro	26,8	0,08042	1,93848	136628,2702	1,13584663
					<b>1,602689324</b>

Ilustración 10.20 Perdidas de energía por fricción red aparato más desfavorable.

PERDIDAS DE ENERGIA POR ACCESORIOS						
TRAMO	ACCESORIOS	CANTIDAD	DIAMETRO (IN)	VELOCIDAD (M/S)	K	hf (m)
5 - 4	codo	1	2	1,39198	0,9	0,088881586
	tee(bilateral)	1			2	0,197514636
4 - 3	codo	1	2 1/2	1,89986	0,9	0,165572683
	tee(bilateral)	1			2	0,367939296
	tee(lateral)	1			0,9	0,165572683
3 - 2	codo	1	3 1/2	1,92351	0,9	0,169719661
	tee(bilateral)	1			2	0,377154803
	tee(lateral)	1			0,9	0,169719661
2 - 1	codo	1	4	1,55079	0,9	0,110318353
	tee(bilateral)	1			2	0,245151897
	tee(lateral)	1			0,9	0,110318353
1 - suministro	codo	1	4	1,93848	0,9	0,172372427
	valvula check	1			2	0,383049838
						<b>2,72328588</b>

Ilustración 10.21 Perdidas de energía por accesorios red aparato más desfavorable.

13. La energía requerida desde el suministro hasta el punto más desfavorable corresponde al planteamiento de la ecuación de energía de Bernoulli (ecuación 6.2): ( $Z_k$ ) la suma de la diferencia de altura de cinco pisos (8.8 m), sumado a los 2 m de altura de la ducha, la presión de servicio de la ducha (7 m), la suma de las pérdidas por fricción ( $h_f$ ) y las pérdidas de energía por accesorios ( $h_f$  acc.) de la tubería vertical con la red interna del apartamento tipo.

ENERGIA MINIMA EN LA RED		
Zs =	0	m
Zk =	10,8	m
Pk/γ =	7	m
hf =	3,423	m
hf acc. =	9,973	m
	<b>31,196</b>	<b>m</b>

Ilustración 10.22 Energía mínima para el adecuado funcionamiento de la red.

#### F. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Para edificaciones con sistema de suministro indirecto por la incapacidad de la red externa de satisfacer las presiones mínimas para el adecuado funcionamiento de los aparatos con condiciones más desfavorables se destina una estructura especial para el almacenamiento del agua. Se debe mantener agua almacenada para atender situaciones de emergencia y no depender sólo de la red externa, al menos por un lapso de tiempo, en cuanto a presiones y caudales de servicio.

Se recomienda construir los tanques en sótanos o enterrados, ya que ubicarlos en altura resulta demasiado costoso por las implicaciones estructurales y sísmicas que acarrea colocar un peso tan grande en la estructura superior.

*Volumen Tanque Almacenamiento = Consumo Promedio/Persona \* Número personas*

$$\text{Consumo} \frac{\text{Promedio}}{\text{Persona}} = \text{Consumo promedio diario por habitante}$$

El volumen del tanque se puede calcular multiplicando el consumo promedio por persona por el número de habitantes de la edificación; sin embargo, el consumo se debe establecer de acuerdo con el tipo de edificación.

#### *Succión*

La tubería de succión comprende el tramo entre el agua almacenada en el tanque y la bomba. La succión es positiva cuando el nivel de la lámina de agua se encuentra por encima del eje de la bomba y negativa cuando está por debajo de este eje. El diámetro interno de la tubería se puede calcular de acuerdo con:

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

Donde d corresponde al diámetro interno en metros, Q es el caudal que se bombea en metros cúbicos por segundo y v es la velocidad media de succión en metros por segundo.

Para su diseño e instalación se hacen las siguientes recomendaciones:

- a. Las pérdidas de energía por fricción se pueden calcular por la fórmula de Darcy-Weisbach, al igual que las pérdidas localizadas.
- b. El diámetro de la entrada de la bomba no se debe tomar como indicador para el diámetro de la succión. Se deben adoptar diámetros mayores con el fin de reducir las pérdidas de energía.
- c. En general, se recomienda que la altura máxima de succión más las pérdidas nunca superen los 5 m.
- d. De acuerdo con el literal anterior, se recomienda que el tramo de succión sea lo más corto posible, evitando al máximo accesorios.
- e. No se deben instalar curvas horizontales, codos o tes a la entrada de las bombas.
- f. Siempre que las bombas tengan sus tuberías de succión conectadas a una tubería única de mayor diámetro, las conexiones se deben realizar por medio de yes.
- g. La tubería de succión tiene un diámetro comercial ligeramente superior al de la tubería de descarga.
- h. En tuberías de succión verticales las reducciones deben ser concéntricas.
- i. 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, para evitar la formación de bolsas de aire.

#### *Impulsión*

Tubería que se utiliza para conducir agua desde un punto de menor altitud, en un sitio de referencia, a puntos de mayor altura. Su diámetro se determina con base en un análisis técnico-económico, el cual debe considerar que entre mayor sea el diámetro adoptado las pérdidas de energía por fricción serán menores y, por lo tanto, la potencia de la bomba requerida será menor, o por el contrario, si el diámetro adoptado es menor las pérdidas de energía por fricción serán mayores y la potencia de la bomba requerida será mayor. Para instalaciones pequeñas el diámetro interno de la tubería se puede calcular de acuerdo con la fórmula de Bresse:

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

Donde d corresponde al diámetro interno en metros, Q es el caudal bombeado en metros cúbicos por segundo y K es un coeficiente entre 0.9 y 4.0. El valor del coeficiente K es consecuencia del precio de la energía eléctrica, de los materiales y de la maquinaria empleada en las instalaciones, que varían de acuerdo con el tiempo y la región. Para instalaciones “grandes” se recomienda realizar un análisis amplio, involucrando diámetros comerciales inferiores y superiores.

Para su diseño e instalación generalmente se hacen las siguientes recomendaciones:

- a. A la salida de la bomba se debe proyectar una válvula de retención y una compuerta.
- b. En todo cambio de dirección se deben realizar sistemas de anclaje y sujeción de la tubería.
- c. El diámetro de las tuberías largas se debe calcular con velocidades relativamente bajas, generalmente entre 0.65 y 1.5 m/s.
- d. El diámetro de las tuberías cortas se debe calcular con velocidades mayores, entre 1.5 y 2.0 m/s.
- e. Se deben evitar cambios bruscos en la dirección del flujo.
- f. Se deben instalar dispositivos para evitar el fenómeno del golpe de ariete y el contraflujo, que se pueden presentar en caso de falla eléctrica o de interrupción de la operación de la bomba.

**G. EJEMPLO DE DISEÑO DE UNA ACOMETIDA. TANQUE DE ALMACENAMIENTO**

NUMERO UNIDADES	20	APARTAMENTOS
PERSONAS / UNIDAD	4	PERSONAS
TIEMPO DE LLENADO	12	HORAS
LONGITUD ACOMETIDA	26,8	METROS
TOTAL PERSONAS	80	PERSONAS
CONSUMO PROMEDIO DIARIO	200	LITROS/PERSONA/DIA
CONSUMO TOTAL DIARIO	16000	LITROS
VOLUMEN ALMACENAMIENTO	16	METROS CUBICOS
CAUDAL ACOMETIDA	0,37037037	LITROS / SEGUNDO

Para calcular la acometida hasta el tanque de almacenamiento, como datos de entrada se debe conocer el número de unidades en la edificación. Se recomienda diseñar considerando cuatro personas por unidad. Se debe establecer un tiempo de llenado del tanque no mayor a 12 horas y conocer la longitud entre el tanque de almacenamiento y la conexión a la red pública, con lo cual se pueden estimar los consumos, el volumen que se va a almacenar y el caudal que debe conducir la acometida.

ACOMETIDA		
DIAMETRO SUPUESTO ACOMETIDA	1	PULGADAS
DIAMETRO INTERNO ACOMETIDA	2,363	CENTIMETROS
VELOCIDAD (< 2.50 M/S)	0,844537447	METROS / SEGUNDO
VISCOSIDAD CINEMATICA	1,00E-06	METROS CUADRADOS / SEGUNDO
COEFICIENTE DE FRICCION	0,0270	
PERDIDAS POR FRICCION	0,04154	METRO/METRO
PERDIDAS POR FRICCION (< 14 M.C.A)	1,11320	METRO

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

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

Se supone un diámetro inicial para la acometida, estimando una velocidad que no debe ser mayor que 2.5 m/s, pero superiores a 0.7 m/s, con lo cual se pueden estimar valores aproximados de fricción. En caso de no cumplir con los condicionantes de velocidad en la primera suposición se deben realizar iteraciones hasta que el diámetro de diseño permita cumplir con las velocidades.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO		
ALTURA TANQUE	2	METROS
AREA	8	METROS CUADRADOS
LADOS A Y B	2,900	METROS



Para dimensionar el tanque de almacenamiento se debe establecer una altura, teniendo en cuenta que permita el ingreso de personas para realizar labores de mantenimiento, como impermeabilizaciones, reparaciones, etc. Se recomienda que el tanque sea cuadrado para reducir costos estructurales.

SUCCION		
<b>CAUDAL REQUERIDO BOMBEO</b>	0,008142	METROS CUBICOS / SEGUNDO
VELOCIDAD ( < 2.50 M/S)	2,5	METROS / SEGUNDO
<b>DIAMETRO</b>	0,064396	METROS
<b>DIAMETRO</b>	6,439596	CENTIMETROS
<b>DIAMETRO COMERCIAL</b>	3	PULGADAS

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

Una vez definido el caudal requerido para el suministro de la edificación propuesta, se diseñan las tuberías de succión e impulsión.

IMPULSION		
<b>CAUDAL REQUERIDO BOMBEO</b>	0,008142	METROS CUBICOS / SEGUNDO
<b>K (0.9 - 4)</b>	1	
<b>DIAMETRO</b>	0,090233	METROS
<b>DIAMETRO</b>	9,023303	CENTIMETROS
<b>DIAMETRO COMERCIAL</b>	4	PULGADAS

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

## H. EQUIPO DE BOMBEO

Se denominan bombas a las máquinas hidráulicas que añaden energía a un fluido mediante una flecha rotatoria. La energía se añade al fluido en forma de presión. Los siguientes son los parámetros fundamentales para analizar el rendimiento de estas máquinas:

Gasto volumétrico. Se denomina como capacidad y equivale al gasto másico dividido entre la densidad del fluido.

Carga hidrostática neta. Es la medida de longitud, que también se conoce como la columna equivalente de agua. Corresponde a la altura total de la línea de energía si se alinea un tubo de Pitot en el centro del flujo.

Potencia bruta. Es la carga hidrostática que se entrega al fluido, multiplicada por la cantidad de masa y aceleración de la gravedad. Se obtiene en dimensiones de potencia.

Potencia útil. Es la potencia después de restar las pérdidas como consecuencia de la fricción, de las fugas internas, de la separación del flujo en la superficie de los alabes, entre otros.

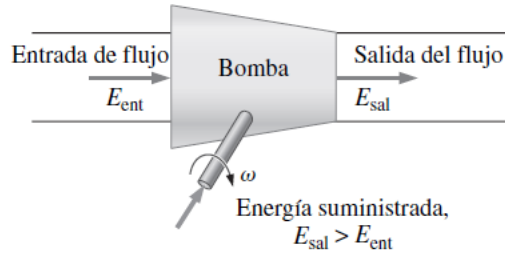


Ilustración 10.23 Esquema General Bomba, Mecánica de Fluidos. Cengel y Cymbala

**Sistema de velocidad variable.** Son las máquinas que de acuerdo con las exigencias de la red ajustan sus condiciones de operación mediante la variación de la velocidad angular con que se mueve el impulsor de la bomba. Cuando se presentan cambios en la demanda de fluido el equipo varía la velocidad de rotación y, por lo tanto, cambian el caudal y la presión del fluido que entrega la bomba.

Para evitar la formación de burbujas de vapor al interior de la tubería (cavitación) se requiere que la presión en cualquier punto de la bomba sea mayor que la presión de vapor. Se utiliza el parámetro llamado carga de operación neta positiva o altura neta positiva en la succión NPSH, el cual corresponde a la diferencia entre la carga de presión de estancamiento en la entrada de la bomba y la carga de la presión de vapor.

$$NPSH_{Necesaria} = \left( \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \right)_{\text{entrada de la bomba}} - \frac{P_v}{\rho g}$$

Ecuación 10.7 Ecuación de NPSH en la entrada de la bomba.

Para evitar que la bomba sufra cavitación, la NPSH real de la bomba debe ser mayor que la necesaria, cuyo valor varía de acuerdo con el caudal suministrado. El comportamiento hidráulico de una bomba viene especificado en su curva característica, que representa una relación entre los distintos valores del caudal proporcionado por ésta con otros parámetros como la altura, el rendimiento hidráulico, la potencia requerida y la NPSH, que dependen del tamaño, el diseño y la construcción de la bomba.

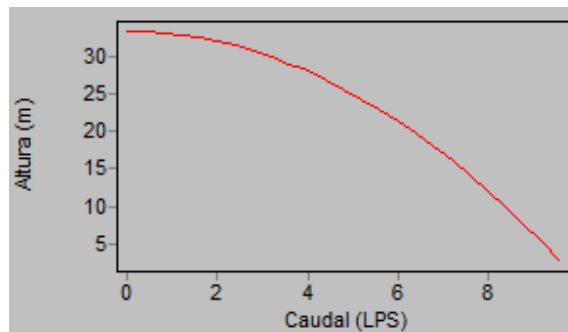
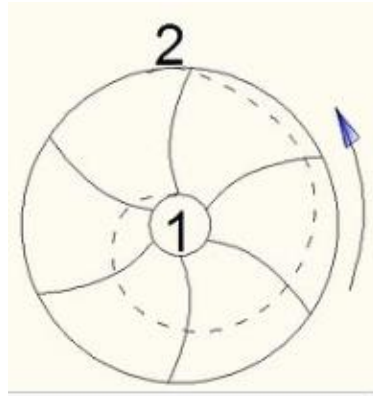


Ilustración 10.24 Curva característica H-Q ejemplo para una bomba.

### *Bomba centrífuga*

Estas bombas se emplean para hacer circular el fluido en contra de un gradiente de presión. Están compuestas de un elemento móvil, rodete o impulsor, que transfiere la energía que proporciona el motor al fluido. La partícula que ingresa en el punto 1 inicia su desplazamiento separándose gradualmente del eje del impulsor, aumentando el radio de su trayectoria espiral hasta finalmente encontrar el punto de salida 2.



*Ilustración 10.25 Esquema de movimiento de una partícula en la bomba centrífuga.*

Durante el proceso el fluido recibe energía cinética, absorbiendo la energía mecánica del motor propulsor, lo cual aumenta la cabeza de presión debido al efecto del centrifugado. El exceso de energía cinética a la salida del impulsor se convierte en energía de presión, utilizando una zona fija con sección divergente con área creciente, que causa una disminución de la velocidad y provoca el aumento de la cabeza de presión. Esta “zona” divergente consiste en un tramo troncocónico. La tubería de succión es una parte fija por la que entra el fluido, debe estar en perfecto estado, sin fisuras o poros para que pueda ingresar aire.



*Ilustración 10.26 Bomba centrífuga.*

### *Bomba de desplazamiento positivo*

Estos dispositivos crean la succión y la descarga, desplazando agua con un elemento móvil. El espacio que ocupa el agua se llena y vacía alternativamente, forzando y extrayendo el líquido mediante un movimiento mecánico. Conducen el fluido que se desplaza a lo largo de

su trayectoria, contenido entre el elemento impulsor, que puede ser un embolo, un diente de engranaje, un aspa, un tornillo, etc., y la carcasa o cilindro. El desplazamiento positivo consiste en el movimiento del fluido causado por la disminución del volumen en una cámara. El elemento que origina el intercambio de energía no necesariamente tiene un movimiento alternativo, puede ser rotatorio o recíprocante.

- Bombas recíprocantes o de pistón: dispositivos que proporcionan la energía al fluido en forma lineal y alternativa.

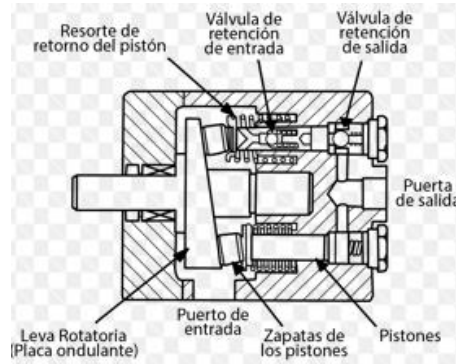


Ilustración 10.27 Esquema bomba de desplazamiento positivo de pistones

- Bombas rotatorias: máquinas de movimiento giratorio. Según el elemento impulsor tienen muchas aplicaciones, aunque principalmente se emplean para manejar líquidos altamente viscosos. El fluido sale de la bomba en forma constante y pueden manejar líquidos que contengan aire o vapor. .

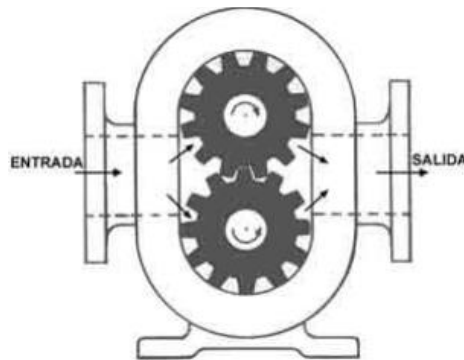


Ilustración 10.28 Esquema bomba de desplazamiento positivo rotaria.

## 11. CONSIDERACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA RED HIDRÁULICA PARA EDIFICACIONES

Todo proceso constructivo es una serie de actividades relacionadas entre sí de forma cronológica, de tal manera que se realicen con la mayor eficiencia y economía, evitando que se presenten reprocesos que afecten el cronograma del proyecto.

### A. ALMACENAMIENTO DEL MATERIAL

La exposición prolongada del PVC a los rayos ultravioletas de la luz solar ocasionan la pérdida de resistencia mecánica de la tubería, lo cual puede provocar fallas durante las pruebas de presión o luego de la entrada en servicio del sistema de distribución. La tubería y los accesorios se deben almacenar protegiéndolos de la luz solar, en temperaturas no superiores a 27°, para garantizar que no se afecten las propiedades del PVC.

### B. LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO

*Placas y muros de concreto, muros de mampostería estructural.*

Debido al carácter especial de los elementos estructurales, como placas de cimentación, losas de entrepiso de concreto, muros de concreto o de mampostería estructural, en la actualidad la red de suministro en edificaciones se instala luego del armado del acero de refuerzo y antes del vaciado de concreto, razón por la cual la colocación de las tubería y los puntos para los aparatos de la red se basa en las referencias de los ejes replanteados sobre la obra falsa que realiza el ejero de la obra.



*Ilustración 11.1 Armado de red de suministro para placa de entrepiso*

Para acertar en la ubicación de los “puntos”, el constructor debe entregar un plano con las cotas de los ejes y sus correspondientes alturas, de tal manera que no se tenga que reacomodar la tubería por una mala localización.

La reacomodación de puntos implica pérdidas de tiempo de mano de obra, de material y afectación en la estructura del edificio, ya que normalmente la supervisión técnica o interventoría del proyecto solicita su reparación con concreto de igual especificación o productos de reparación estructural especial.



*Ilustración 11.2 Acomodación de puntos de A.F. y A.C. en cocina debido a altura errónea, Sistema de Mampostería Estructural*



*Ilustración 11.3 Acomodación de punto de A.F. en cocina debido a altura errónea, Sistema de Muros en concreto.*

Para plataformas de parqueaderos, generalmente la red de suministro se instala sobrepuesta a la estructura, luego de finalizada su construcción.

### *Demarcación de la red*

Para tuberías embebidas en las placas de entepiso y muros de concreto se recomienda demarcar con pintura la red al siguiente día del vaciado del concreto, con el fin de que durante el desarrollo de otras actividades los trabajadores identifiquen el trazado de la red y ésta no se vea afectada por perforaciones de varillas, anclajes o tornillos, actividades que se ejecutan durante la construcción de mampostería, la instalación de cielo raso, la instalación de muebles, espejos o incrustaciones.

### *Ductos - medidores*

Generalmente, para la red matriz de la edificación el diseño arquitectónico prevé ductos o áreas muertas para su instalación. Primero, se recomienda verificar las dimensiones del ducto replanteado y su viabilidad respecto a la instalación de otras redes. Ocasionalmente se identifican ductos demasiado pequeños en los que no es viable instalar las redes matrices por su tamaño, por lo cual se debe evaluar estructural y arquitectónicamente una solución en obra involucrando a los diseñadores. Como segunda medida, se debe ubicar el negativo para los ductos con las dimensiones exactas para evitar reprocesos por mala localización inicial.



*Ilustración 11.4 Área para ductos y medidores Proyecto Venti.*



*Ilustración 11.5 Cajilla medidores para 4 apartamentos, red matriz 2 1/2", piso tipo proyecto Venti.*

### **C. PRUEBAS DE PRESIÓN**

El numeral 6.8.4 de la NTC-1500 solicita que “Una vez terminada una sección o un sistema total de agua fría o caliente, debe ser probada su hermeticidad bajo una presión de agua no menor a los 1000 kilo pascales o aproximadamente 150 PSI. La tubería debe soportar la presión durante un periodo de cuatro horas y sostenerla con una tolerancia del 2%. El agua que se usa para los ensayos debe ser obtenida de una fuente de agua potable y se deben conservar registros de estos ensayos.”. Dichos ensayos se realizan taponando la tubería en los extremos y controlando la variación de la presión con un manómetro, que debe estar calibrado y certificado. Antes de realizar la prueba se debe dar un tiempo para que la soldadura “seque” o fragüe, generalmente son de 7 a 10 minutos.



*Ilustración 11.6 Manómetro de medición de presión en PSI, cargado a 150 PSI.*

La variación de la presión por fuera de las tolerancias aceptadas por la norma normalmente corresponde a fugas generadas por tubería rota o accesorios mal soldados, por lo cual se debe identificar el área de falla, vaciar la tubería y realizar la corrección. En la práctica las



pruebas de presión se llevan a cabo de acuerdo con el nivel de rigurosidad de la dirección de cada obra, se recomienda no vaciar concreto antes de cuatro horas, durante las cuales se debe probar la tubería; no obstante en la mayoría de obras esto no se cumple.



*Ilustración 11.7 Manómetro durante prueba de presión de Placa de entepiso.*

Una vez superada la prueba se debe retirar el manómetro. Se recomienda llenar la tubería a una presión menor, 100 PSI, para identificar con facilidad daños en las tuberías por parte de otros contratistas de obra y así proceder con su correspondiente reparación. El daño y el resultado de las pruebas se debe documentar con fotografías para cobrar la reparación como un trabajo adicional. Hay que establecer sus causas y si se trata de daños que se presentan sistemáticamente a la red por procesos constructivos, se debe exigir solución al constructor o a la dirección de obra para evitar reprocesos.



*Ilustración 11.8 Reparación de punto de suministro de inodoro en muro de mampostería por perforación de acero de dovela.*



*Ilustración 11.9 Reparación de red de suministro en placa de concreto de piso 1 por perforación de tornillos para soporte de tubería colgante en sótano.*



*Ilustración 11.10 Reparación de red de suministro en placa de concreto en Sistema Industrializado por perforación de taches durante proceso de testereado de muros.*

### *Repruebas*

Cuando por diferentes motivos no se pueden mantener las redes llenas con agua a presión se deben realizar pruebas de forma periódica, de acuerdo con el avance de obra. Se recomienda adelantar repruebas al finalizar la obra gris y antes de instalar los aparatos.

#### **D. PRUEBAS DE FLUJO**

Durante la construcción es posible que la tubería se contamine con materiales como mortero, concreto y yeso, por no taponar la tubería en los “puntos” o en los lugares donde se realizan los cortes de instalación. En ese sentido, se sugiere hacer pruebas de flujo en las redes de suministro similares a las que se realizan en la red de desagües. Las pruebas de flujo se deben hacer previamente a la instalación de los aparatos, para garantizar los caudales y presiones de servicio requeridos.

#### **E. DESINFECCIÓN DE LA RED**

Una vez superada la prueba de flujo se debe desinfectar la red, en el numeral 6.8.8 la NTC-1500 recomienda dos métodos:

“6.8.8.1 El sistema de tuberías debe limpiarse con un chorro de agua potable hasta que saga sólo agua potable en los puntos de salida”.

“6.8.8.2 El sistema o sus partes debe llenarse con una solución de agua clorada que contenga al menos cincuenta partes por millón de cloro, y el sistema o sus partes deben estar cerrados para reposo al menos durante 24 horas, o el sistema o sus partes deben llenarse con una solución de agua clorada que contenga al menos doscientas (200) partes por millón de cloro y se les deja reposar por 3 horas”.

Al finalizar el proceso de desinfección, la red se debe inyectar con una “tromba” de agua potable limpia hasta que el cloro residual que sale del sistema no exceda el cloro residual en el agua de limpieza. Normalmente se utilizan chorros de agua potable.

## 12. EJEMPLO DE DISEÑO UTILIZANDO EL PROGRAMA EPANET

**Epanet** es un programa de dominio público desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos para el estudio, el análisis y la evaluación de los sistemas de distribución de agua. A partir de la introducción de datos y su respectiva modelación se pueden obtener de forma rápida datos característicos de la red importantes para la toma de decisiones en cuanto a dimensiones, requerimientos de energía u otros (velocidades, presiones, pérdidas, etc.), estableciendo un avance clave en la metodología para el cálculo de redes; optimizando tiempos y reduciendo márgenes de error. Como ejemplo de diseño se utiliza la edificación analizada en el Capítulo 11.F.

La edificación de interés tiene cinco pisos y dos apartamentos por piso. Se cuenta con la planta arquitectónica del piso tipo y el trazado inicial de la red. La altura entre los pisos es de 2.2 m.

### A. DIBUJO DE LA RED Y ALIMENTACION

El primer paso es trazar la red de interés. Si se quiere realizar el trazado en Epanet el programa tiene las opciones para el dibujo de Conexión, Embalse, Depósito, Tubería, Bomba o Válvula.

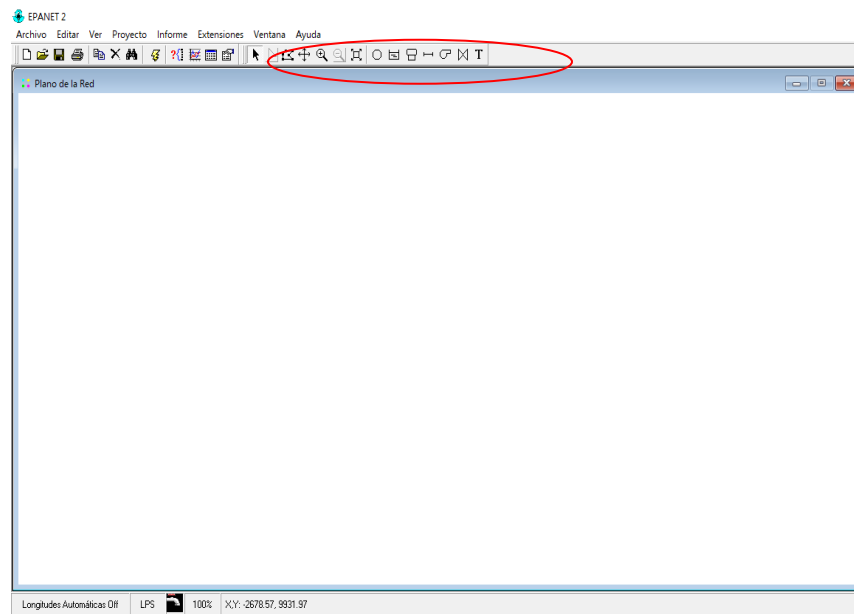
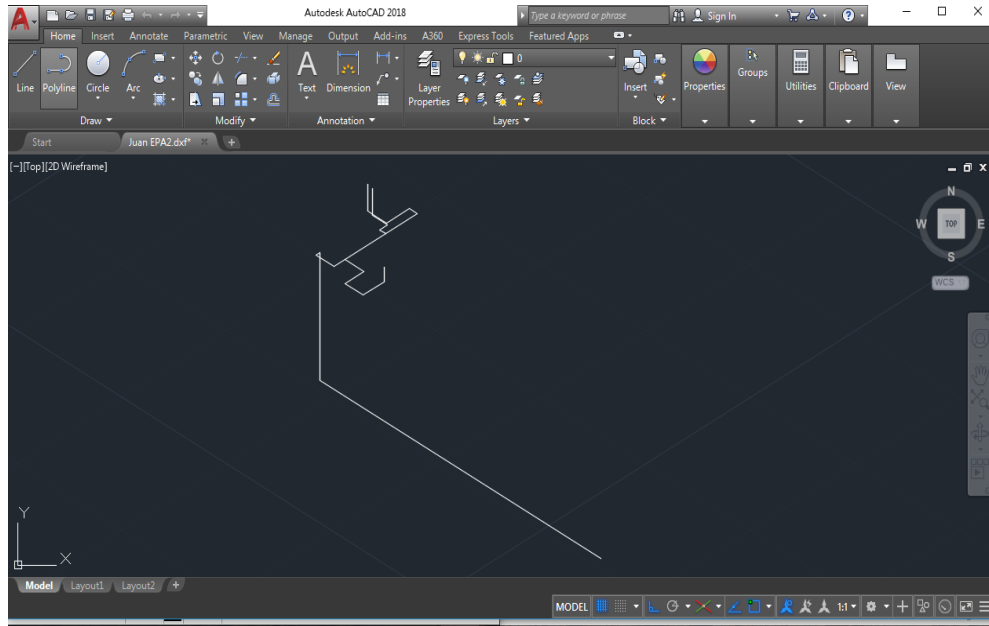


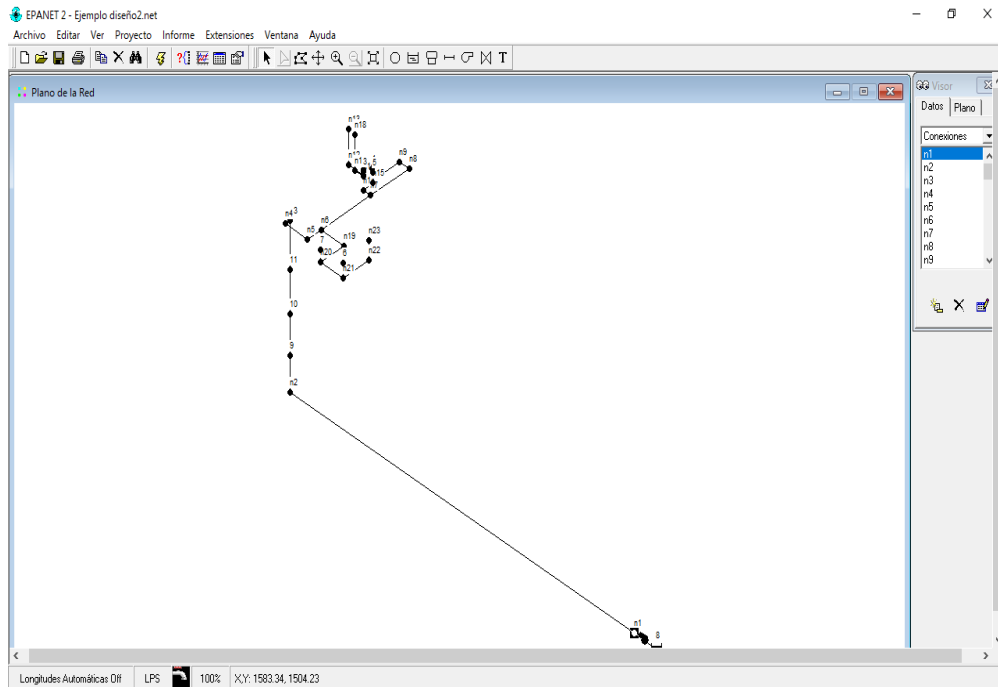
Ilustración 12.1 Panel principal Epanet 2.0

También se puede importar el trazado de la red desde AutoCAD, teniendo en cuenta que el trazado en el archivo CAD debe ser isométrico, la mayor parte de la red se debe trazar con la opción polilínea y debe estar contenida en un mismo LAYER. Una vez se cumpla con dichos requisitos se debe guardar el archivo CAD como .dxf. Se abre el archivo .dxf en el programa Epanet, en el que se puede seleccionar el modo de conversión (nodos o vértices) y tolerancia para la conectividad.



*Ilustración 12.2 Isométrico red trazado en AutoCAD*

Al guardar el archivo como .imp se puede abrir la red en el programa Epanet. Es necesario revisar los tramos de la tubería y sus respectivas conexiones, para que no se repitan líneas o no existan nodos mal ubicados. Si se quiere, se pueden enumerar nuevamente las conexiones o las tuberías.



*Ilustración 12.3 Isométrico importado a Epanet 2.0*

En general, para redes de distribución en edificaciones se realiza la simulación incluyendo en el modelo un embalse, el cual hace de tanque de almacenamiento. De igual manera, se debe plantear el equipo de bombeo con una curva característica preliminar.

## B. DATOS DE ENTRADA

Después de trazar y revisar la red se deben introducir al programa los datos de entrada. Para cada conexión se debe digitar la cota (metros) en la cual se encuentra ubicada cada una respecto al nivel de referencia.

Conexión n23		Tubería p1	
Propiedad	Valor	Propiedad	Valor
*ID Conexión	n23	*ID Tubería	p1
Coordenada-X	1597.84	*Nudo Inicial	n1
Coordenada-Y	1499.76	*Nudo Final	n2
Descripción		Descripción	
Etiqueta		Etiqueta	
*Cota	10.7	*Longitud	26.8
Demanda Base	0.3	*Diámetro	80.42
Patrón de Demanda		*Rugosidad	0.00015
Categoría de Demanda	1	Coef. de Pérdidas	0
Coef. Emisor		Estado Inicial	Abierto
Calidad Inicial		Coef. Flujo	
Fuente de Calidad		Coef. Pared	
Demanda Actual	No Disponible	Caudal	No Disponible
Altura Total	No Disponible	Velocidad	No Disponible
Presión	No Disponible	Pérd. Unit.	No Disponible
Calidad	No Disponible	Factor fricción	No Disponible
		Velo. de Reacción	No Disponible
		Calidad	No Disponible
		Estado	No Disponible

Ilustración 12.4 Cuadros de características Nodos y Tuberías, Epanet 2.0

Para cada tubería se deben digitar la longitud (metros), el diámetro preliminar (mm), el coeficiente de rugosidad de las paredes de la tubería (adimensional) y los coeficientes de pérdidas por accesorios / válvulas (adimensional).

## C. ESTIMACION DE CAUDALES

Se debe definir un método de predimensionamiento para estimar los caudales requeridos por la red. Para el presente ejemplo de diseño se estima por el método de Hunter modificado, en el que se obtienen los siguientes resultados:

NUDO	TRAMO	No APARATOS	UNIDADES DE CONSUMO	$\Sigma UC$	Q MAXIMO PROBABLE	$\Sigma Q$ MAXIMO PROBABLE	Q MAXIMO POSIBLE	Q NODO
					LPS		LPS	LPS
dhc1 02	tr01	1	2	2	0,2	0,2	0,18730	0,2
wc1 02	tr02	1	3	3	0,3	0,3	0,24751	0,3
02 03	tr03	2		5		0,5	0,35166	-0,14834
lvm1 03	tr04	1	1	1	0,2	0,2	0,11630	0,2
03 06	tr05	3		6		0,7	0,39862	-0,15138
dhc2 08	tr06	1	2	2	0,2	0,2	0,18730	0,2
wc2 08	tr07	2	3	3	0,3	0,3	0,24751	0,3
08 09	tr08	2		5		0,5	0,35166	-0,14834
lvm2 09	tr09	1	1	1	0,2	0,2	0,11630	0,2
09 06	tr10	3		6		0,7	0,39862	-0,15138
06 15	tr11	6		12		1,4	0,64197	-0,15030
lvdero 12	tr12	1	3	3	0,3	0,3	0,24751	0,3
lvadora 12	tr13	1	3	3	0,3	0,3	0,24751	0,3
12 13	tr14	2		6		0,6	0,39862	-0,20138
lvplatos 13	tr15	1	2	2	0,3	0,3	0,18730	0,2
13 15	tr16	3		8		0	0,48580	-0,11420
15 18	tr17	9		20		1,7	0,91209	-0,21791
18 19	tr18	18		40		3,4	1,46891	0,54000
19 20	tr19	36		80		6,8	2,36567	0,89680
20 21	tr20	54		120		10,2	3,12620	0,77000
21 22	tr21	72		160		13,6	3,80989	0,68000
22 23	tr22	90		200		17	4,44158	0,64000

Ilustración 12.5 Tabla Excel para estimación de caudales método de Hunter modificado.

Se calcula el valor que se debe ingresar en cada nodo, con lo cual cada tramo tiene un caudal igual al caudal máximo posible estimado a través del método de Hunter. En Epanet se deben modificar las demandas en los nodos para que en los tramos de tubería el caudal transportado sea igual al obtenido por dicho método. Este procedimiento se debe realizar manualmente y con mucho cuidado para evitar introducir al programa datos erróneos.

Se introducen los caudales en el recuadro de demanda base, en unidades de litros por segundo. Para la simulación se introducen diámetros “preliminares”, luego de correr el programa se determina el diámetro definitivo de la tubería, conociendo el caudal en cada tramo.

Simplemente se resuelve la ecuación de continuidad en la que el caudal es igual al producto de la velocidad por el área de la tubería. Se debe tener en cuenta que para tuberías de diámetros inferiores a 76.2 mm la velocidad de diseño no debe estar por encima de 2 m/s ni debe ser menor que 0.70 m/s. Para diámetros superiores a 76.2 mm la velocidad no debe ser un valor mayor que 2.5 m/s.

#### D. ANALISIS DE RESULTADOS

Una vez se termina la digitación de datos de entrada y preliminares se realiza la simulación.

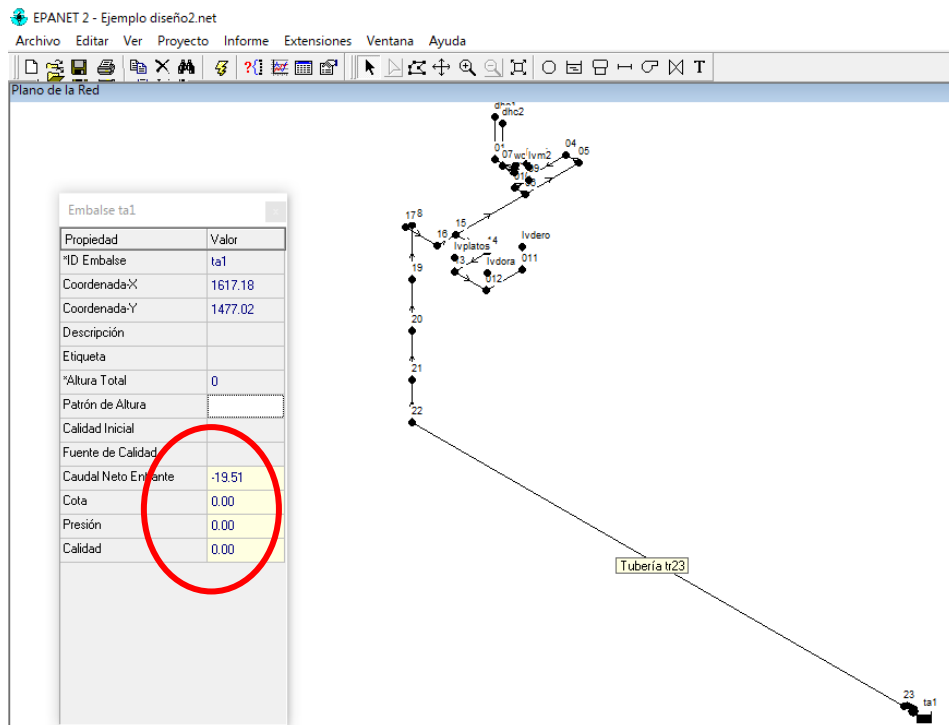


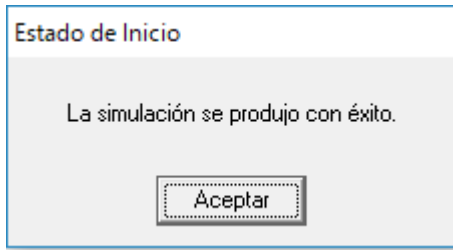
Ilustración 12.6 Cuadro de digitación y resultados para embalse, Epanet 2.0



Ilustración 12.7 Botón para correr simulación, Epanet 2.0

Hecha la simulación, el programa suministra gran cantidad de información que se puede observar en los cuadros de digitación, de forma esquemática sobre la red, con tablas de datos, o de forma gráfica.





Si la simulación es exitosa, se debe verificar que en las conexiones de consumo, es decir, donde se encuentran los aparatos, se esté cumpliendo con las presiones de servicio requeridas y no se tengan presiones negativas excesivas en la red, esto garantiza que el sistema funcione adecuadamente.

Propiedad	Valor
*ID Conexión	dhc1
Coordenada-X	1596.49
Coordenada-Y	1505.98
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	11.6
Demanda Base	0.2
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Demanda Actual	0.20
Altura Total	21.69
Presión	10.09
Calidad	0.00

Ilustración 12.8 Cuadro de digitación y resultado en nodo, Epanet 2.0

Propiedad	Valor
*ID Tubería	tramo1b
*Nudo Inicial	01
*Nudo Final	dhc1
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	2
*Diámetro	18.18
*Rugosidad	0.00015
Coef. de Pérdidas	.9
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	
Caudal	0.20
Velocidad	0.77
Pérd. Unit.	60.96
Factor fricción	0.037
Velo. de Reacción	0.00
Calidad	0.00
Estado	Abierto

Ilustración 12.9 Cuadro de digitación y resultado en tubería, Epanet 2.0

En la opción de gráficos se pueden obtener fácil y rápidamente representaciones gráficas de las condiciones hidráulicas importantes en el sistema, como las presiones en los aparatos o el rango de velocidades de flujo en todos los tramos.

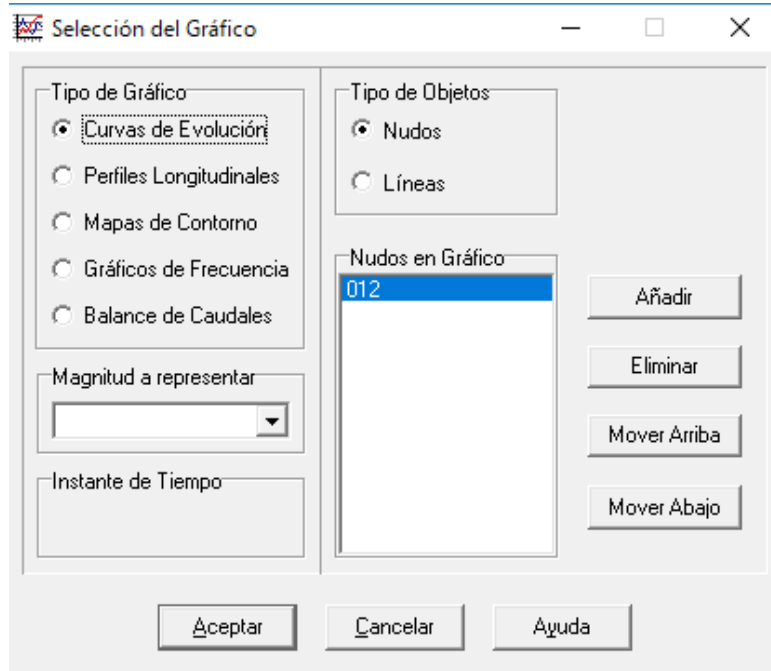


Ilustración 12.10 Cuadro de creación de gráficos.

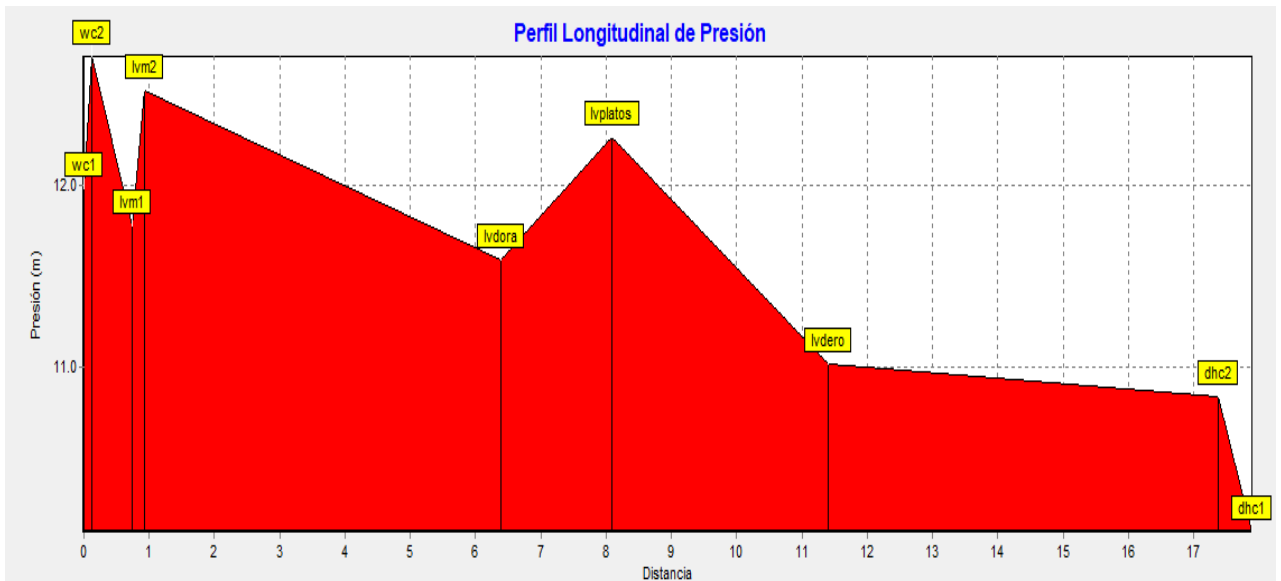


Ilustración 12.11 Perfil de presiones para los aparatos

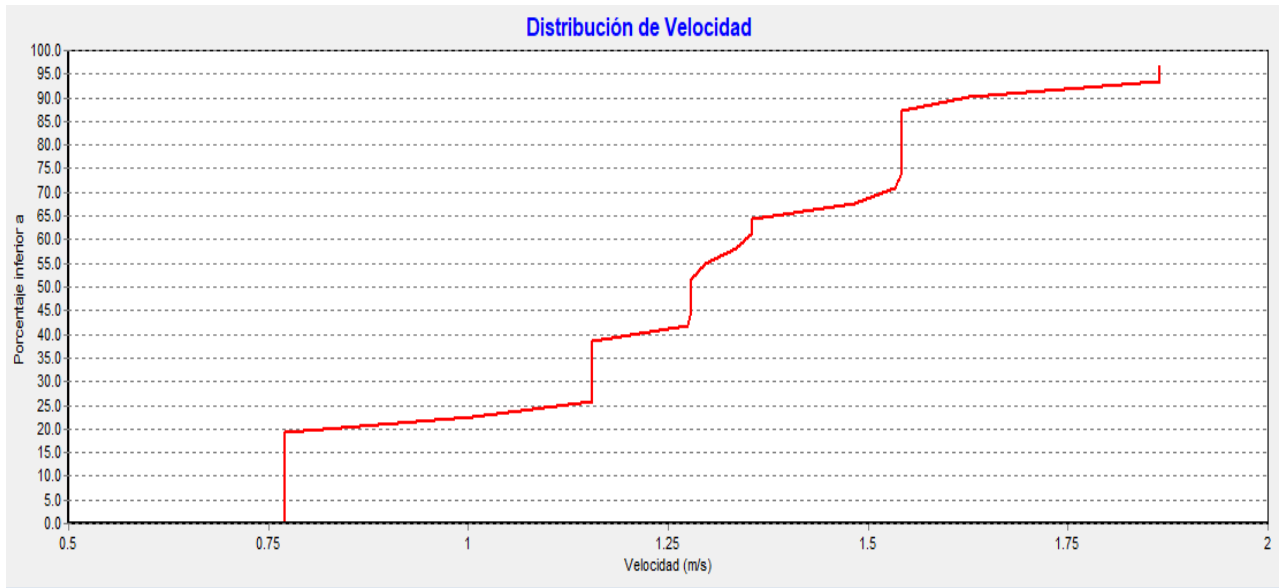


Ilustración 12.12 Grafico de frecuencias de Velocidad en tuberías.

Así mismo, se pueden obtener los valores de la altura de energía, en los que se pueden diferenciar las pérdidas por fricción y las pérdidas locales que se tienen en cada tramo, así como la altura total del aparato más desfavorable de la red.

La ventaja del programa Epanet es que a través de la opción de simulación permite conocer fácil y rápidamente la velocidad y la presión en todos los tramos y conexiones del sistema. Se realiza el ajuste de los diámetros para cumplir con las velocidades límite y las presiones mínimas, buscando reducir los diámetros y, por lo tanto, los costos.

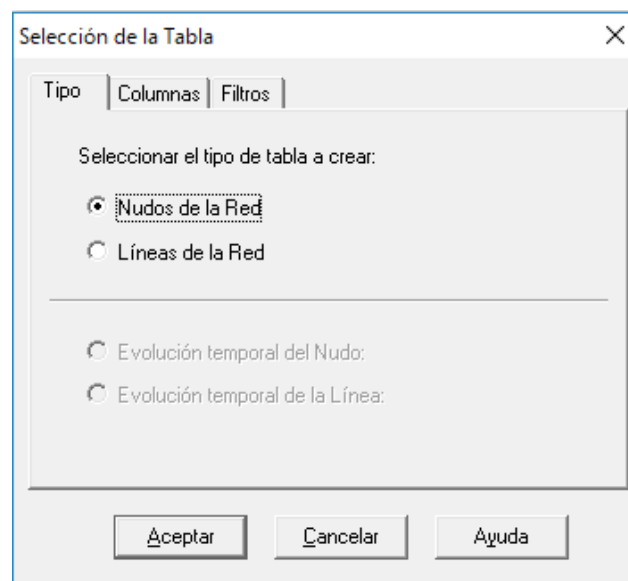


Ilustración 12.13 Cuadro de creación de Tablas.

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Factor de Fricción
Tubería tramo22	4.44	1.30	33.29	0.026
Tubería tramo17a	0.92	1.28	714.51	0.259
Tubería tramo17b	0.92	1.28	104.02	0.038
Tubería tramo17c	0.92	1.28	132.60	0.048
Tubería tramo11	0.65	1.48	111.80	0.024
Tubería tramo5a	0.40	1.54	165.34	0.025
Tubería tramo5b	0.40	1.54	304.63	0.046
Tubería tramo5c	0.40	1.54	209.99	0.032
Tubería tramo3	0.35	1.35	254.34	0.049
Tubería tramo1a	0.20	0.77	51.30	0.031
Tubería tramo1b	0.20	0.77	60.96	0.037
Tubería tramo10a	0.40	1.54	347.23	0.052
Tubería tramo10b	0.40	1.54	300.85	0.045
Tubería tramo8	0.35	1.35	234.73	0.046
Tubería tramo6a	0.20	0.77	54.33	0.033
Tubería tramo6b	0.20	0.77	60.96	0.037

*Ilustración 12.14 Tabla de características para tramos de tubería del sistema.*

ID Nudo	Cota m	Altura m	Presión m
Conexión dhc1	11.6	21.69	10.09
Conexión dhc2	11.6	22.44	10.84
Conexión lvdero	10.7	21.71	11.01
Conexión wc1	9.8	21.79	11.99
Conexión wc2	9.8	22.51	12.71
Conexión lvm1	10.2	21.98	11.78
Conexión lvm2	10.2	22.72	12.52
Conexión lvdora	10.4	21.99	11.59
Conexión lvplatos	10.2	22.47	12.27

*Ilustración 12.15 Tabla de características para nudos del sistema*

NUDO	TRAMO	DIAMETRO MINIMO	DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO EFECTIVO	VELOCIDAD REAL
		M	IN	IN	M	M/S
dhc1	tr01	0,011284	0,4442	1/2	0,01818	0,77046
02						
wc1	tr02	0,013820	0,5441	1/2	0,01818	1,15570
02						
02	tr03	0,014962	0,5891	1/2	0,01818	1,35470
03						
lvm1	tr04	0,011284	0,4442	1/2	0,01818	0,77046
03						
03	tr05	0,015930	0,6272	1/2	0,01818	1,53561
06						
dhc2	tr06	0,011284	0,4442	1/2	0,01818	0,77046
08						
wc2	tr07	0,013820	0,5441	1/2	0,01818	1,15570
08						
08	tr08	0,014962	0,5891	1/2	0,01818	1,35470
09						
lvm2	tr09	0,011284	0,4442	1/2	0,01818	0,77046
09						
09	tr10	0,015930	0,6272	1/2	0,01818	1,53561
06						
06	tr11	0,020216	0,7959	3/4	0,02363	1,46386
15						
lvdero	tr12	0,013820	0,5441	1/2	0,01818	1,15570
12						
lvadora	tr13	0,013820	0,5441	1/2	0,01818	1,15570
12						
12	tr14	0,015930	0,6272	1/2	0,01818	1,53561
13						
lvplatos	tr15	0,013820	0,5441	1/2	0,01818	0,77046
13						
13	tr16	0,017586	0,6924	1/2	0,01818	1,87144
15						
15	tr17	0,024097	0,9487	1	0,0302	1,27331
18						
18	tr18	0,030580	1,2039	1 1/4	0,03814	1,28571
19						
19	tr19	0,038808	1,5279	2	0,05458	1,01111
20						
20	tr20	0,044612	1,7564	2	0,05458	1,33616
21						
21	tr21	0,049249	1,9389	2	0,05458	1,62838
22						
22	tr22	0,053175	2,0935	2 1/2	0,0660758	1,29528
23						

Ilustración 12.16 Tabla diámetros y velocidades definitivas de red.

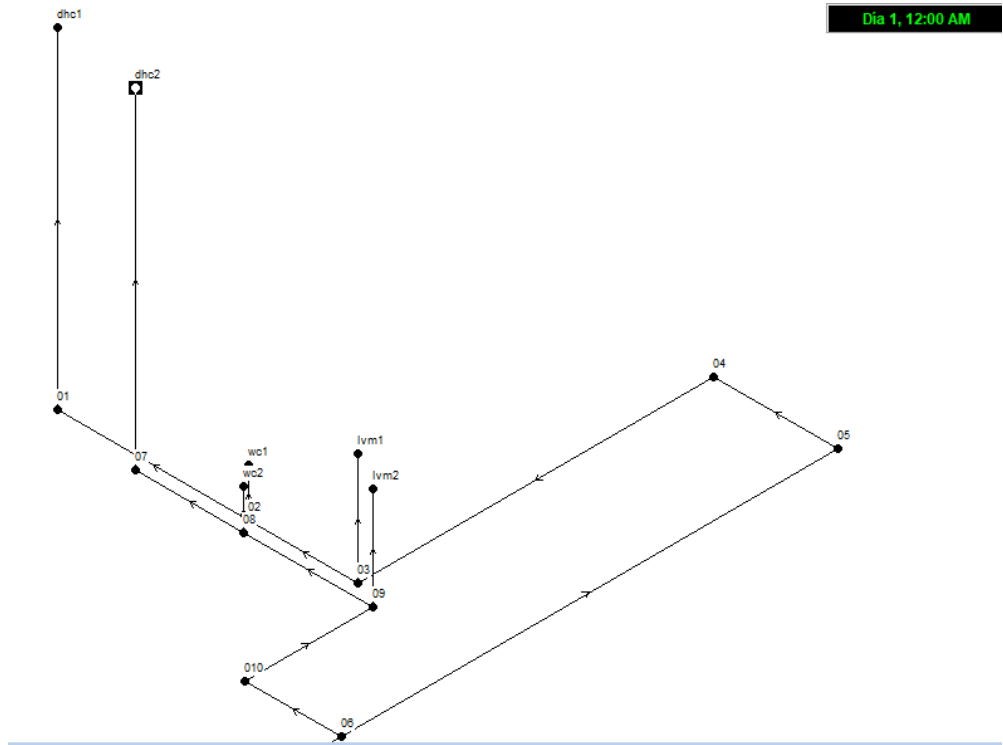


Ilustración 12.17 Isométrico red en área de baños, Epanet 2.0

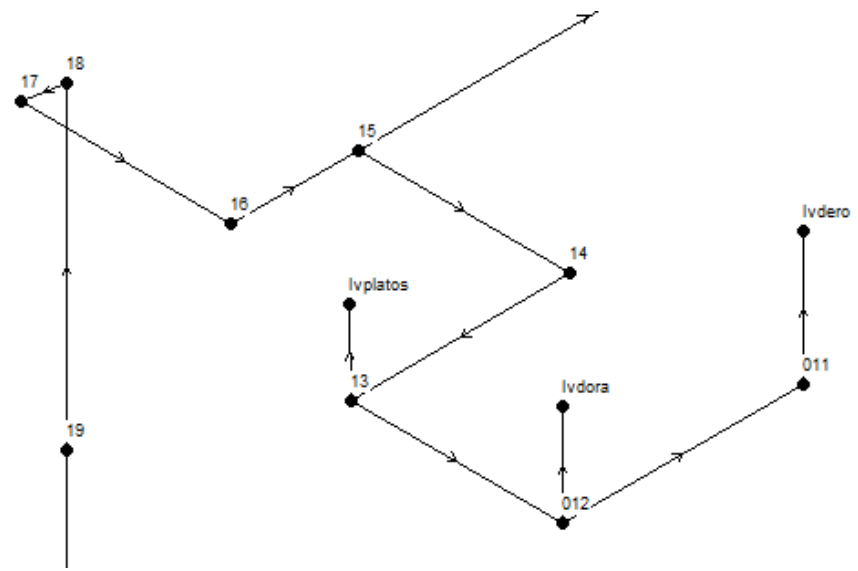


Ilustración 12.18 Isométrico red en área de cocina y ropas, Epanet 2.0

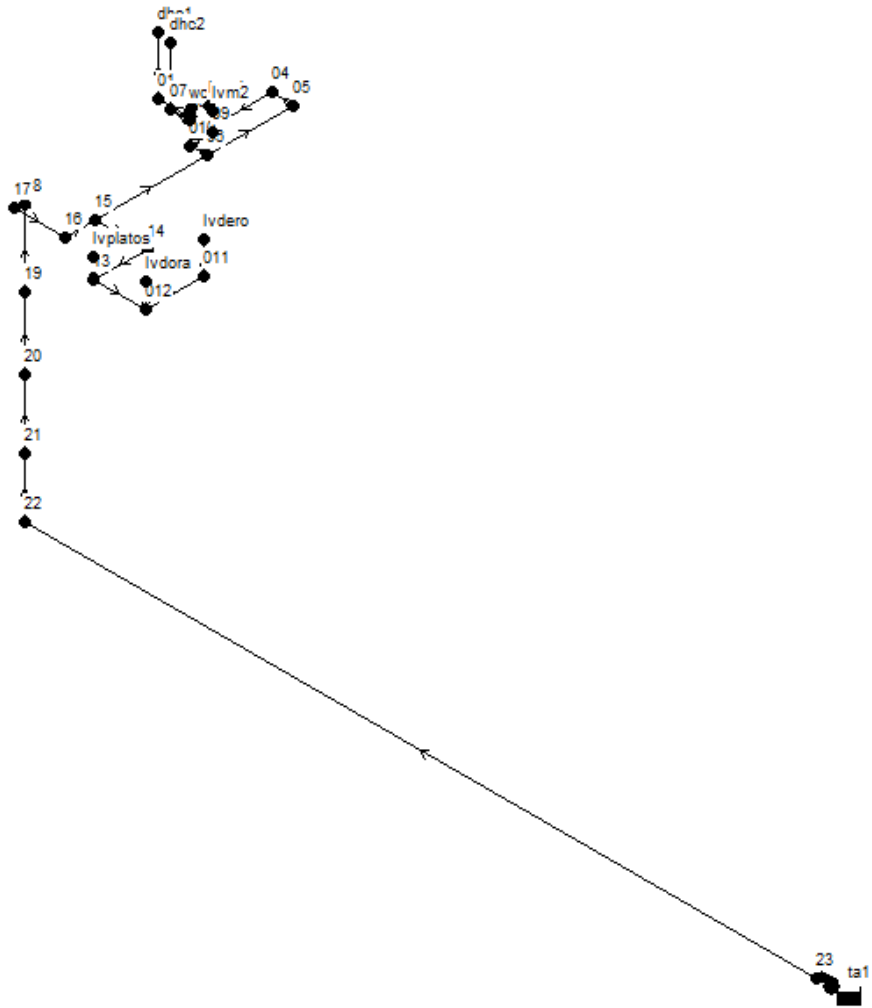


Ilustración 12.19 Isométrico red interna - almacenamiento, Epanet 2.0

### 13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a. La normatividad vigente en el ámbito nacional, representada por la NTC-1500, para el diseño de redes de suministro de agua potable se aproxima de forma general a especificaciones particulares de las redes, los tipos de edificación, el trazado de la red y los tanques de almacenamiento. Es necesario profundizar de manera detallada en los diferentes elementos del sistema y su dimensionamiento.
- b. Un buen trazado de la red de distribución es clave para optimizar costos y eficiencia; sin embargo, no se encuentra bibliografía sobre este proceso.
- c. Las características hidráulicas propias de las redes de suministro en edificaciones como su trazado, sus diámetros, la cantidad de aparatos o la cantidad de válvulas son características que determinan los constructores y diseñadores arquitectónicos de acuerdo con el tipo de edificación que se quiere construir, en la mayoría de casos sin tener en cuenta aspectos que podrían reducir costos y facilitar procesos constructivos. Al diseñador del sistema de distribución de agua se le recomienda no limitarse sólo al diseño de la red sino que evalúe, donde sea posible, mejoras y optimización desde el diseño arquitectónico y el tipo de edificación.
- d. La metodología probabilística de Hunter analizada corresponde a un método propuesto en Estados Unidos, cuya curva se realizó con base en estudios y mediciones realizadas en ese país. El método de Hunter modificado tiene en cuenta características y patrones de consumo de la población nacional, lo cual permite concluir que la metodología probabilística propuesta se ajusta a las condiciones particulares de la sociedad de interés.
- e. De acuerdo con los resultados obtenidos en el ejemplo de diseño, el método de Hunter modificado comparado con el del Factor de Simultaneidad establece diámetros de menor tamaño, lo cual permite diseñar una red más económica.
- f. Una vez establecidos los diámetros del sistema se deben revisar todos los tramos de la tubería, verificando que la velocidad sea mayor que 0.6 m/s y menor que 2.0 m/s para tuberías con diámetro menor a 3 pulgadas, para diámetros mayores la velocidad máxima es 3.0 m/s. Así como los aparatos del sistema para comprobar que se cumplan las presiones mínimas de servicio. Una revisión detallada de estas dos condiciones permite identificar fácilmente las condiciones de red.
- g. Para evitar reprocesos y demoras durante la construcción del proyecto se debe exigir un proceso de coordinación al inicio de la obra de todas las redes (suministro, desagües, energía, teléfono, etc.).
- h. La tubería y los accesorios de PVC en obra se deben almacenar teniendo en cuenta los siguientes factores para garantizar que su resistencia mecánica no se vea afectada: 1) Proteger el material de la luz solar y los rayos ultravioletas. 2) No almacenar material en áreas con temperaturas iguales o mayores que 27°.
- i. Durante la construcción es clave que el constructor o el interventor de obra cumplan con la localización, las longitudes y los diámetros establecidos durante el diseño de la red para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema.
- j. Es importante que el constructor o el interventor de obra realicen todas las purgas y pruebas que exige la normatividad para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema y sus aparatos.



- k. Para las tuberías que queden embebidas en elementos de concreto se recomienda demarcar la red sobre el concreto endurecido, para que los trabajadores del proyecto identifiquen la red y para evitar que durante el desarrollo de actividades de obra gris (anclajes de varilla, perforaciones de tornillos, etc.) la instalación de la red se vea afectada por perforaciones.
- l. Si durante la construcción no es posible mantener la red continuamente con agua a presión se recomienda realizar las siguientes pruebas de presión en la red: 1) Al finalizar la obra gris (mampostería, pañetes y alistado de pisos). 2) Al finalizar la instalación de muebles, incrustaciones, espejos, puertas y cielo raso. 3) Antes de la instalación de los aparatos sanitarios.
- m. La implementación de los esquemas isométricos de las redes de interés es un proceso clave e indispensable, no sólo para el estudio de la red en Epanet, sino que es ideal para identificar gráficamente y de forma sencilla todos los componentes del sistema, para establecer los tramos de las tuberías con condiciones hidráulicas diferentes, para la cuantificación de las tuberías, sus accesorios, y los nodos con condiciones hidráulicas especiales.
- n. El uso de Epanet ofrece una gran cantidad de herramientas de cálculo, simulación y modificación para el análisis de sistemas de redes, ya que permite realizar evaluaciones precisas y rápidas del dimensionamiento y las características hidráulicas de la red, buscando optimizar su costo.
- o. A pesar de la gran variedad de ventajas que ofrece Epanet, un programa de computación es bueno en tanto la información que se le suministre al programa (datos de entrada, características de la red) sea coherente, tanto física como dimensionalmente. Si se suministra información errónea los resultados también serán equivocados.

## 14. BIBLIOGRAFÍA

Acueductos de Roma, tomado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Acueductos\\_de\\_Roma](https://es.wikipedia.org/wiki/Acueductos_de_Roma) 2012. Consultado el 10/07/2018

Astudillo Guillén, J.C. (2013). Análisis de métodos empleados en el cálculo de un sistema hidráulico en edificios. Universidad Católica de Cuenca

Bonnin, J. (1984). History of hydrology. Paris, Eyrolles

Canaleduca (2014). El agua en la antigua Mesopotamia.

Cengel, Y.A. & Cimbala, J.M. (2006). Mecánica de fluidos. Fundamentos y aplicaciones. McGraw Hill

Domínguez, F.J. (1999). Hidráulica (6ª. Ed.). Editorial Universitaria

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Tomado de [https:// www.acueducto.com.co](https://www.acueducto.com.co). Consultado el 10/07/2018

Granados, J. (2002). Redes hidráulicas y sanitarias en edificios. Bogotá, Unibiblos.

Icontec (2017). Código Colombiano de Fontanería NTC-1500.

Ministerio de Desarrollo Económico (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Rocha Felices, A. 2004. Hidráulica de tuberías y canales. Universidad Nacional

Rodríguez Díaz, H.A. (2005). *Diseños hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Rossman, L.A. (2000). Epanet 2 User's Manual. Water Supply and Water Resources Division.

Sotelo Ávila, G. (1997). Hidráulica general, vol. 1. Limusa

Vargas Ramírez, C.I. (2016). Consideraciones de diseño y cálculo de las instalaciones hidráulicas en una red de distribución de agua potable. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.