

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FORMOSA



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

Introducción a la Ingeniería Sanitaria

Ingeniería Sanitaria

Mg Ing. Guillermo Mendez

Basado en Apuntes de Ingeniería Sanitaria y
Ambiental (UNNE) – Autor: Ing. Marcelo Gómez

Agosto de 2018

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	OBJETIVOS DE LA INGENIERÍA SANITARIA.....	4
3.	COMPONENTES DE UN SISTEMAS DE SANEAMIENTO	4
4.	REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE	6
4.1.	Red Abierta, Ramificada o Arborescente.....	6
4.2.	Red Cerrada o Mallada.....	7
4.3.	Componentes y consideraciones para el diseño	8
5.	PERIODO DE DISEÑO Y PROYECCIÓN DE LA DEMANDA	12
5.1.	Proyección Demográfica por Ajuste Lineal de la Tendencia Histórica.....	13
5.2.	Proyección Demográfica por Tasa Geométrica Decreciente	13
6.	CAUDALES DE DISEÑO (GASTOS A CONSIDERAR)	14
6.1.	Consumo per cápita. Dotaciones de Cálculo	15
6.2.	Caudales característicos a considerar	15
6.3.	Coeficientes de Caudales	17
7.	CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO HIDRÁULICO DE CAÑERÍAS	19
7.1.	Gasto Hectométrico (G_{Hm})	19
7.2.	Gasto en Ruta (gr).....	19
7.3.	Gasto Total (gr).....	20
7.4.	Gasto de Cálculo (gc)	20
7.5.	Métodos de Cálculo	20

1. INTRODUCCIÓN

Sin duda entre los mayores aportes que la ciencia ha dado a la sociedad está el conocimiento sobre cuáles son las condiciones necesarias para alcanzar un ambiente saneado, es decir, aquel que permite el desarrollo de una vida humana sana. Tales ambientes solo son útiles si se aplican a la sociedad en su conjunto y por tanto requieren de la ejecución de obras públicas principalmente sobre ciudades, donde se estima que se asentará el 80% de la población mundial.

Así la ingeniería sanitaria, entre otras actividades, aplica los conocimientos científicos oportunamente alcanzados para la ejecución de obras de infraestructura que saneen zonas de asentamiento humano.

El agua es un elemento vital para desarrollo, la avidez de ella no solo se limita a su ingesta sino a múltiples actividades domésticas, comerciales y productivas. Pero también es el vehículo de una friolera de enfermedades y, por tanto, su uso requiere la mano de profesionales responsables que le confieran las características necesarias para que su utilización no sea riesgosa. La Ingeniería Sanitaria es una de las disciplinas encargadas para alcanzar tales condiciones.

Pero no solamente se limita solo al manejo del agua. En efecto, también el manejo de residuos sólidos urbanos (llamado vulgarmente basura) es un tema de vital importancia para reducir transmisión de enfermedades y/o contaminación del suelo y el agua.

En el transcurso de la materia se desarrollaran conocimientos necesarios para el diseño y dimensionamiento de obras como:

- Potabilización de agua.
- Redes de distribución de agua potable.
- Redes colectoras de desagües cloacales.
- Sistemas de Tratamientos de efluentes cloacales.
- Sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos.

En el presente documento se desarrollaran los métodos para la obtención de los caudales de diseño para obras de agua potable y cloacas, además de los horizontes de diseño con los que tales obras se planifican y los métodos de proyección de la población abastecida.

2. OBJETIVOS DE LA INGENIERÍA SANITARIA

Esta disciplina está directamente dedicada al saneamiento de los espacios donde vive el hombre.

- Influye en la salud de la población mediante la prevención de enfermedades (enfermedades hídricas, enfermedades infecciosas por contaminación con desechos cloacales, etc.). Cumple las funciones de una medicina preventiva. Lo que no se gasta en saneamiento, después se gasta en hospitales.
- Preserva el ambiente: Por ejemplo el tratamiento de líquidos cloacales evita o disminuye la contaminación de cuerpos receptores, al igual que una buena disposición de los residuos sólidos evita la contaminación del suelo, de napas, la proliferación de insectos, etc.
- Provee la infraestructura que posibilita el crecimiento demográfico ordenado, acompañado de las medidas de saneamiento necesarias.

3. COMPONENTES DE UN SISTEMAS DE SANEAMIENTO

Un sistema de agua potable está formado por el conjunto de obras destinadas al abastecimiento de agua potable, se necesita que el agua suministrada por el sistema, reúna las características de calidad física, química y bacteriológica, que la hagan apta para el consumo humano y además su provisión debe ser en cantidad suficiente.

El sistema de agua potable comprende los siguientes componentes: i) Captación; ii) Conducción del agua cruda; iii) Potabilización; iv) Almacenamiento y v) Distribución (Figura 1).

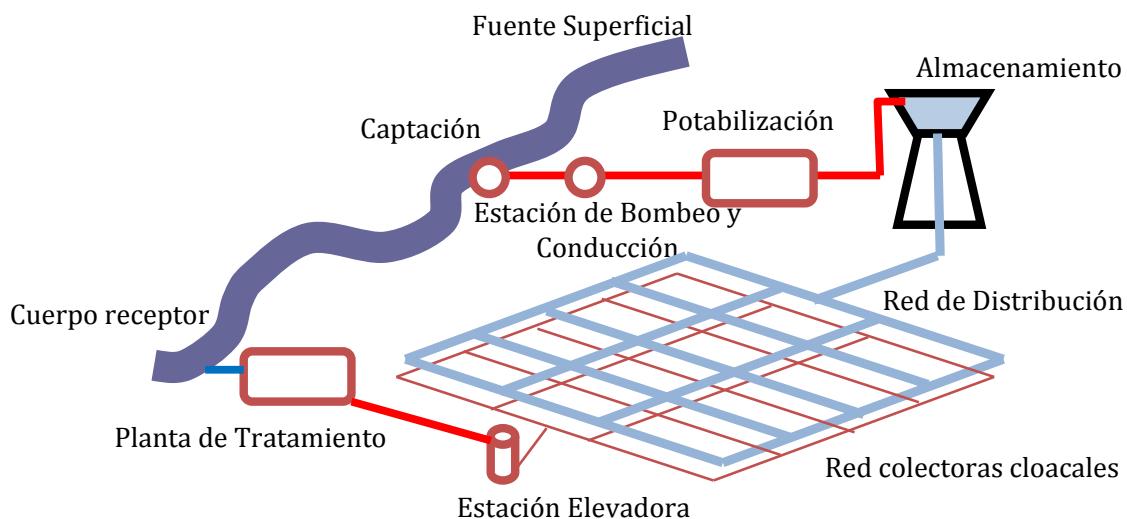


Figura 1. Esquema de un sistema de provisión de agua potable

Para el inicio del sistema es necesario contar con obras de captación, que dependerá de las características de la fuente de abastecimiento, que pueden ser de origen superficial (ríos, lagos, lagunas o manantial), meteóricas y subterráneas. La adopción de la fuente de abastecimiento se la define por su calidad y cantidad para explotación, determinadas en un estudio específico de fuente.

Luego de las obras de captación se encuentran la conducción y potabilización del agua, donde el tratamiento dependerá de las características que presente el agua cruda a tratar.

Como los caudales consumidos son variables (por hora y por día), se debe almacenar agua para poder garantizar el suministro en los períodos en que la demanda es alta.

La entrega a los usuarios se realiza a través de sistemas de redes de distribución, que tienen como finalidad conducir el agua tratada hasta los beneficiarios ubicados en una determinada área (área servida).

El sistema de saneamiento se completa con el sistema cloacal que comprende la recolección de los efluentes cloacales generados por los usuarios del área servida, su elevación mediante estaciones de bombeo y el tratamiento para que la descarga del líquido tratado no afecte la calidad del cuerpo receptor.

4. REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

En un sistema de abastecimiento de agua las redes distribuidoras tienen como finalidad conducir el agua previamente potabilizada desde el sistema de almacenamiento hasta cada uno de los usuarios comprendidos en el área servida. Están conformadas por un conjunto de cañerías de diversos diámetros y materiales, piezas especiales y accesorios, situadas preferentemente bajo veredas y calles públicas. Las redes de distribución pueden ser de dos tipos:

- Red abierta, ramificada o arborescente
- Red mallada o cerrada

4.1. Red Abierta, Ramificada o Arborescente

La red ramificada (Figura 2a) comienza en el punto donde la cañería principal de alimentación a la población se bifurca en dos o más tuberías, las cuales a su vez vuelven a ramificarse y así sucesivamente.

Lo típico de esta red y que la caracteriza, es que sólo es posible que el agua realice su recorrido en una sola dirección, desde la alimentación hasta llegar a cada usuario. Es perfectamente identificable ese sentido, y no hay modo que el usuario reciba el agua de otra forma. Los escurrimientos son unidireccionales para cada punto de la red.

Una particularidad de este tipo de redes es la existencia de un número importante de puntos terminales, es decir de extremos finales de las cañerías, hasta donde el agua llega sin posibilidad de circulación, salvo por el consumo singular de los usuarios en ese lugar. Esto se materializa en la práctica con una pieza especial que se coloca para taponar el orificio del caño.

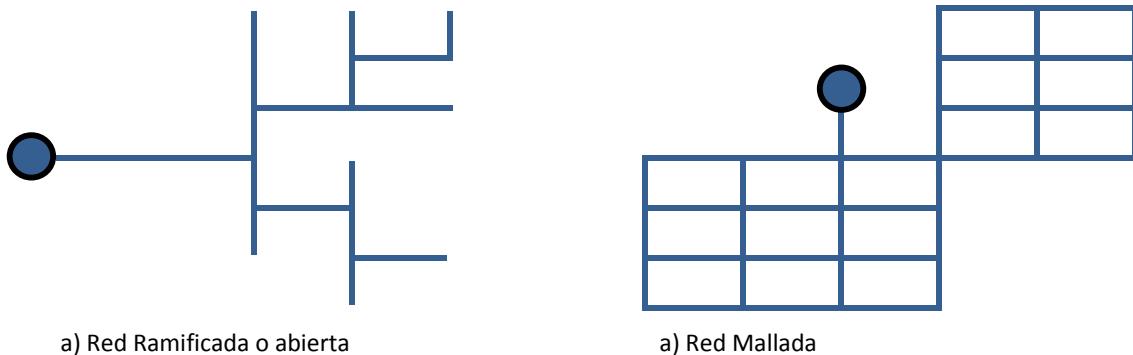


Figura 2. Tipos de Redes

4.2. Red Cerrada o Mallada

Tal como puede observarse en la Figura 2b tiene cañerías conectadas entre sí, de forma tal que el agua puede llegar hasta un punto determinado siguiendo varios caminos posibles.

Esto implica que la circulación del líquido esté determinada por el estado de presiones de la red y se realice en uno u otro sentido en cada punto (posibilidad bidireccional) para una cañería perteneciente a una red mallada.

Desde el punto de vista de la calidad del servicio son más seguras que las abiertas, pero su cálculo es más complejo y deben tomarse más variables para su resolución. En la Tabla 1 se indican las ventajas y desventajas de los dos tipos de redes descriptos.

Tabla 1. Análisis Comparativo entre Redes Abiertas y Cerradas

Tipo de Red	Tipo de Red	Tipo de Red
Abierta	Distribuye a los usuarios que necesitan las conexiones, sin extenderse por zonas no habitadas. Mayor economía.	Existencia de puntos de aguas muertas. Por reparaciones deja sin servicio gran parte de la población.
Cerrada Mallada	No presenta zonas de aguas muertas, el agua circula por toda la red. Solo se interrumpe el servicio el	Mayor costo.

	tramo que tiene el desperfecto. Mayor flexibilidad.	
--	--	--

4.3. Componentes y consideraciones para el diseño

Las redes cerradas se componen de los siguientes elementos:

1) Cañerías maestras o principales: Son las que conforman la base de las mallas, se vinculan al tanque o fuente, se unen entre sí y alimentan a las cañerías secundarias. Pueden o no admitir conexiones domiciliarias, dependiendo de su diámetro. Estas cañerías son las que se calculan. Se las denomina también cañerías principales. En las mallas cerradas constituyen los marcos de Malla.

2) Cañerías secundarias: son las que completan la distribución dentro de los circuitos definidos por las mallas. Sus diámetros no se calculan sino que se fijan en función de la densidad demográfica, tipo de localidad, longitud del tramo, tipo de usuarios y de conexiones. La adopción de este diámetro es un problema de orden económico, ya que en la mayoría de las localidades constituye la mayor parte de la longitud de la red. Esta cañerías no se unen entre sí, solamente se cruzan a distinto nivel y se alimentan por sus extremos desde las cañerías principales.

3) Cañerías subsidiarias: son tuberías de diámetro similar a las secundarias, se colocan de nudo a nudo paralelas a las cañerías maestras cuando sobre éstas, por su diámetro (300 mm o superior) u otras circunstancias, no se instalan las conexiones domiciliarias.

4) Nudos (o nodo): son puntos de la red donde se empalman cañerías y hay bifurcación de caudal. Existen singularidades que no son nudos, ejemplo de estos son los cambios de direcciones y se le asigna letra a igual que los nudos para identificarlos.

5) Tramo: es la tubería que vincula dos nudos de la red, también puede presentarse la situación donde se vincule un nudo con un punto singular. En la Figura 3, los tramos, son partes de cañería comprendidos entre dos nudos sucesivos ABD, DI, ACE, EI, DF, FII, EG y GII.

6) Malla (loop en inglés): es todo circuito constituido por cañerías principales, que no se sobreponga a otros circuitos cerrados interiores.

En la Figura 3 se puede observar el esquema de una red y sus componentes, donde A, D y E son nudos, los restantes B, C, F y G son puntos singulares (cambio de dirección) que se les asignan letras a efectos de identificarlos.

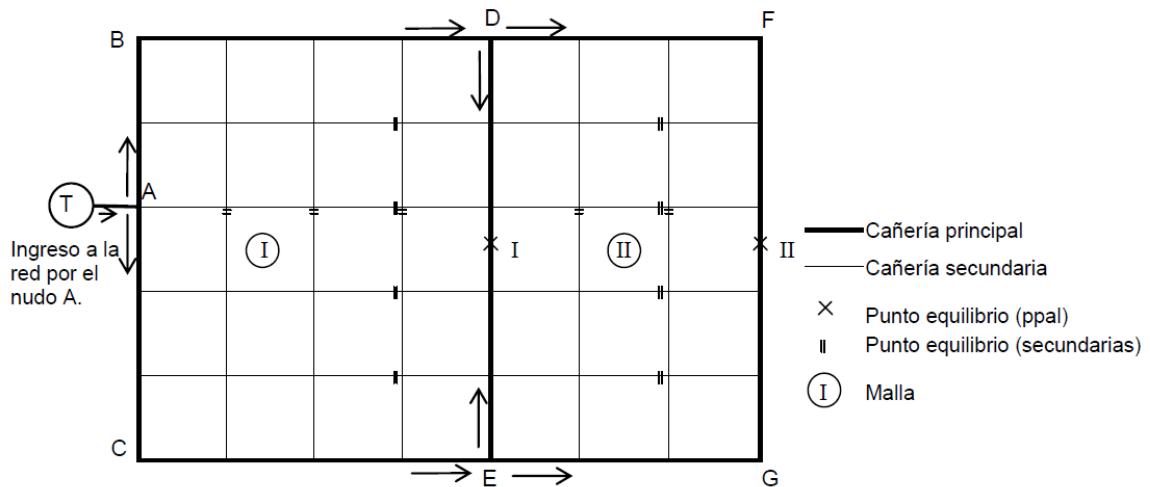


Figura 3. Esquema de una red de distribución y sus componentes

Las cañerías principales son aquellas por las cuales se alimentan la red, se calculan como cañerías rectas despreciando las pérdidas de cargas localizadas. Se conectan entre si y se conectan con las cañerías secundarias. Al conectarse estas cañerías forman los nudos y el conjunto de cañerías principales forman mallas.

Las cañerías secundarias se conectan por sus extremos con la cañerías principales de las cuales se abastecen.

La alimentación y presurización de la red se realiza con bombas o tanques elevados (T) que distribuyen el agua por gravedad a la red.

El criterio para determinar el tamaño de la malla está condicionada a que esta cumpla que:
Longitud lado de malla = 300 a 600 metros y la superficie de malla 10 a 30 ha.

7) Punto de equilibrio: Son puntos donde la velocidad es nula, el agua no circula, puesto que no existe diferencia de presión En la Figura 3, se encuentran entre los nudos D y E G y F, a estos puntos (I y II) se los denomina puntos de equilibrio. En los puntos de equilibrio las presiones se igualan en 2 puntos sucesivos de tramos distintos.

Al colocar los puntos de equilibrio, queda determinado el sentido del recorrido del agua en la red, quedando la red dividida en ramales. Por ejemplo los ramales TABDI, TACEI, TABDFII y TACEGII de la Figura 3.

Las mallas se cierran en los puntos de equilibrio, las cañerías secundarias también tienen puntos de equilibrio, la adopción de estos puntos se hace a efectos de asignar el gasto alimentado por la cañería principal y su ubicación se determina con el criterio de que los puntos que están más cerca del tanque tienen más presión.

8) Ramales: están constituidos por el conjunto de tramos, cada uno de ellos de diámetro constante, comprendidos entre el punto de alimentación y el punto de equilibrio. En la Figura 3 estos son: TABDI, TACEI, TABDFII y TACEGII.

En el caso del dimensionamiento de las cañerías de la red distribución, sólo se calculan las cañerías principales y esto constituye un problema hidráulico. Recordamos que cuando se dimensionen cañerías siempre hay que considerar las siguientes variables: i) gasto (g); ii) pérdida de energía por unidad de longitud (j); iii) diámetro interno de cañería (D) y iv) velocidad (v).

Conociendo dos de ellos de las variables mencionadas, se puede hallar las restantes.

Así, si se considera la red abastecida por un tanque elevado, el método de dimensionamiento parte de considerar, como situación más desfavorable a la cuba vacía, es decir, en la Figura 4 la columna de agua al inicio de la red alcanzará el valor de H_T .

Como indica la Figura 4 se desarrolla el perfil del terreno, se tienen los puntos T y I donde el punto T tiene una cota piezométrica Cp_T y el punto de equilibrio I tiene una cota piezométrica CP_I que indica la presión mínima, uniendo estos dos puntos piezométricos tenemos la piezométrica teórica del ramal.

La línea piezométrica real se obtiene calculando las pérdidas de carga que realmente se producen en cada tramo del ramal, como consecuencia del dimensionamiento de cada uno de ellos empleando materiales y diámetros comerciales.

Una vez determinadas las líneas piezométricas reales de los dos ramales que concurren a un punto de equilibrio, se calcula la diferencia de cierre Δh , que es la diferencia de las cotas piezométricas del punto de equilibrio calculadas por ambos trayectos. De acuerdo a la definición de punto de equilibrio, este valor debería ser cero.

No obstante, teniendo en cuenta la real disponibilidad de diámetros comerciales, el método admite una tolerancia máxima de un metro en la diferencia de cierre. Es decir que si la diferencia de cierre es menor o igual a un metro, se da por terminado el cálculo de la malla.

De no ser así, se deberán hacer otros tanteos variando los diámetros adoptados (dentro de la opción mayor-menor existente para cada tramo), hasta que ello ocurra. A veces, en casos extremos, es necesario desplazar el o los puntos de equilibrio que no cierran y rehacer los cálculos. En esta última situación, siempre debe completarse el cálculo de la red inicial, de forma tal que al plantear la nueva red se contemplen en conjunto todas las modificaciones necesarias.

Otra condición que se debe verificar es que en toda la red exista la presión mínima requerida por la normativa, Obras Sanitarias de la Nación estableció la presión mínima en 12 mca, este valor es adoptado en la normativa vigente del Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA).

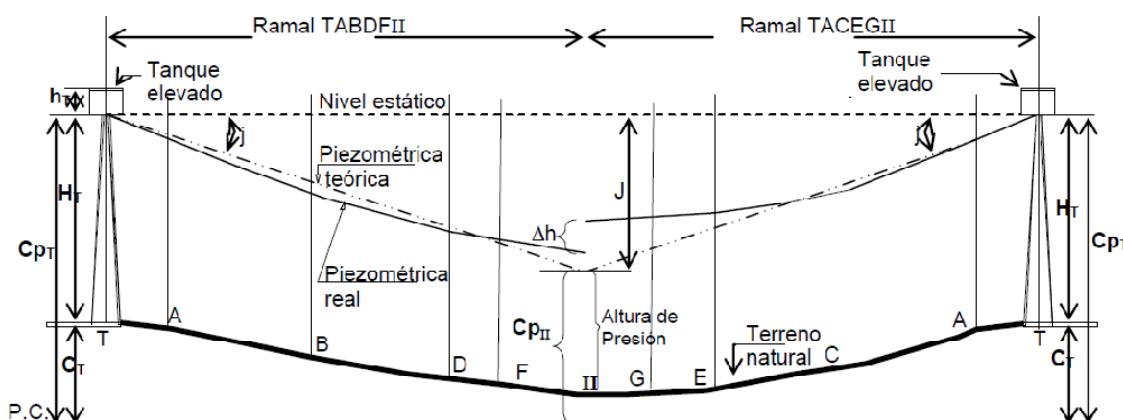


Figura 4. Líneas piezométricas de los ramales

5. PERÍODO DE DISEÑO Y PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

Todas las obras públicas deben proyectarse en un marco de planificación adecuada a mediano plazo donde se prevea suplir las carencias actuales y futuras de la sociedad. Esto optimiza las inversiones, ya que amplía el periodo de utilidad de las infraestructuras y reduce el gasto público.

Esto requiere una correcta evaluación de las alternativas posibles, que deben considerar no solo diferentes soluciones técnicas sino también diferentes períodos de diseño.

Las guías del ENOHSa, en virtud de criterios económicos establecen que el período de diseño de la totalidad de las obras civiles que integran el sistema debe ser de veinte (20) años y para el diseño de los equipos e instalaciones mecánicas y electromecánicas debe ser de diez (10) años, contados a partir del año inicial de operación del sistema (año de habilitación de las obras).

El proyecto de una red distribución debe incluir un estudio demográfico a través del cual se defina la evolución de la población a servir durante el período de diseño y la distribución espacial de la misma dentro de la planta urbana de la localidad.

Se debe hacer siempre una proyección demográfica para cada año del período de diseño por diferentes métodos. Esta proyección demográfica se debe basar en la información obtenida de los censos nacionales de población y vivienda, complementada con la información confiable que puede recabarse en otras fuentes.

Existen varias metodologías para proyectar la población en el tiempo, sobre la base del conocimiento de indicadores adecuados, surgidos de censos nacionales o provinciales o datos aportados por otros mecanismos. El ENOHSa recomienda entre otros la utilización de los siguientes métodos de proyección:

- *Curva logística*: considera que el crecimiento de la población con el tiempo se asemeja a una curva con forma de "S". Es de aplicación en localidades que han experimentado un crecimiento acelerado, el cual posteriormente ha sufrido una atenuación observable en la estabilización de las tasas de crecimiento

- *Tasas geométricas decrecientes:* Considera un crecimiento exponencial de la población. Es un método aplicable a localidades que han sufrido un aporte inmigratorio o un incremento poblacional significativo en el pasado reciente.
- *Relación-Tendencia:* Considera que el crecimiento de una localidad está asociada al crecimiento poblacional del departamento, provincia o país que la componen.
- *Ajuste Lineal de la Tendencia Histórica:* Considera un crecimiento lineal de la población. Es conveniente en pequeñas localidad que pueden presentar crecimiento fluctuante de la población

Los procedimientos más frecuentemente utilizados para estimar el crecimiento demográfico de una localidad entre dos fechas determinadas y adoptadas por la cátedra a efectos de desarrollar el correspondiente trabajo práctico son los desarrollados a continuación.

5.1. Proyección Demográfica por Ajuste Lineal de la Tendencia Histórica

La población futura estimada se determina en función de un crecimiento lineal con la Ecuación 1.

$$P_n = P_0 + (1 + i \cdot n) \quad (1)$$

Donde:

Pn: Población estimada al año 20 (hab);

P0: Población inicial (hab) preferentemente menor a 10.000 hab.

n: Período de vida útil de la obra considerada (años).

i: tasa de crecimiento anual de la población (%).

5.2. Proyección Demográfica por Tasa Geométrica Decreciente

El método utiliza para la proyección futura, la Ecuación 2 que es una expresión no lineal, similar a la del interés compuesto.

$$P_n = P_0 + (1 + i)^n \quad (2)$$

En ambos métodos el problema radica en la determinación de i (tasa de crecimiento anual de la población). Esto se puede obtener por medio del uso de datos censales

Además, la confiabilidad de los valores obtenidos a través de los métodos de proyección disminuye a medida que la fecha de ejecución de los estudios se aleja del año de realización del último censo de población. Por tal razón, es necesario analizar la consistencia de la proyección confrontando las cifras estimadas por aquélla con la evolución verificada por algunos indicadores demográficos indirectos (padrón electorales, cantidad de conexiones eléctricas, matrícula escolar, etc.), desde el año del último censo disponible hasta la fecha de ejecución de los estudios.

6. CAUDALES DE DISEÑO (GASTOS A CONSIDERAR)

Se pueden considerar los consumos en función de los posibles destinos del agua. Una clasificación útil es considerar dichos consumos para uso doméstico, uso industrial y comercial, uso público y siempre habrá también pérdidas y derroches que de acuerdo a la situación a analizar deberán ser tenidas en cuenta.

El consumo doméstico es el que se produce dentro de los domicilios en las tareas cotidianas como ser bebida, cocina, lavado, higiene, etc. Para núcleos urbanos con zonas de distintas características debe considerarse para cada una de ellas la distribución del consumo de acuerdo a las condiciones locales. En nuestro país se estima que normalmente el consumo doméstico oscila entre el 40 al 60 % del total del agua entregada a una población típica.

Dentro de los factores a considerar en el diseño, para el cálculo de los consumos, se tienen en cuenta actividades tales como:

- Estimación de la demanda, sobre la base del estudio de los niveles socioeconómicos.
- Estudio de la trama urbana, actual y futura.
- Determinación de la distribución espacial de la población urbana, periurbana y rural, y el análisis de los planes y normas que fijen densidades demográficas.
- Reunión de antecedentes sobre los servicios públicos y privados en la zona. Obtención de información sobre sus instalaciones.

Todo esto permite plantear hipótesis de proyección de la población y distribución de la demanda y facilitan el cálculo de los consumos que deberá atender la red.

6.1. Consumo per cápita. Dotaciones de Cálculo

Es el consumo medio, en litros, atribuido por día a cada usuario (l/hab.día).

Para entregar agua a una población, es indispensable el conocimiento del número de habitantes a servir y los consumos promedios per cápita, tanto actuales como futuros.

En cuanto al consumo per cápita, hay particularidades que deben tenerse en cuenta para encontrar la variación del mismo, no solamente a lo largo del período de diseño, sino también para distintas oportunidades diarias y estacionales.

Los consumos de agua no son constantes en el tiempo. Presentan tanto variaciones a lo largo del mismo día considerado, como a lo largo del año.

La dotación de consumo a utilizar como dotación de diseño media anual, debe calcularse para cada caso en base a la capacidad de la fuente, la influencia del clima, las características socioeconómicas locales y al tipo de servicio y de usuarios.

A continuación, se indican valores de dotación efectiva de consumo o de diseño media anual que pueden ser usados como referencia tomado de las normas ENOHSa.

- Surtidores públicos 40 l/hab.día.
- Conexiones domiciliarias con medidor: 150 a 200 l/hab.día, con un máximo de 250 l/hab.día cuando hay condiciones de clima semiárido o árido.
- Conexiones domiciliarias sin medidor: 150 a 300 l/hab.día.

6.2. Caudales característicos a considerar

Tal lo detallado presentemente el consumo de una misma población servida puede variar a lo largo del año y de un mismo día. Entonces el hidrograma de caudales consumidos por la población presentarán picos y valles, que son de interés para el diseño de las distintas obras sanitarias. Para un mejor entendimiento el ENOHSa exige el uso de la nomenclatura indicada en la Tabla 2.

Tabla 2. Denominación de los Caudales.

Caudal	Nomenclatura	Descripción
Mínimo Horario	QA	Mínimo horario del día de menor consumo anual
Mínimo Diario	QB	Promedio del día de menor consumo anual
Medio diario	QC	Promedio diario en el año.
Máximo Diario	QD	Promedio del día de máximo consumo.
Máximo Horario	QE	Máximo horario del día de máximo consumo

Éstos pueden no ser los mismos todos los años del período de diseño. De hecho, si se considera que a lo largo de un cierto periodo la población aumente, consecuentemente, los caudales de consumo aumentarán. Para un año n se denominarán entonces según la nomenclatura indicada en la Tabla 3.

Tabla 3. Definición de caudales de diseño

Nomenclatura	Descripción
QA _n	Caudal Mínimo Horario del Año n
QB _n	Caudal Mínimo Diario del Año n
QC _n	Caudal Medio Diario del Año n
QD _n	Caudal Máximo Diario del Año n
QE _n	Caudal Máximo Horario del Año n

El caudal de diseño en redes de distribución de agua potable, debe ser el correspondiente al consumo máximo horario (QE_n), de la población de diseño. Se emplea este valor puesto que la red no tiene capacidad de almacenamiento, solo conduce agua, entonces ante la situación de tener que enfrentar la máxima demanda, la red tiene capacidad de respuesta para atender la demanda entregando el caudal máximo y asegurando la presión mínima.

Su determinación se hace multiplicando al consumo medio diario (QC_n), establecido en base a la dotación y población futura (Ecuación 3), por tres coeficientes.

$$QC_n = \delta \cdot P_n \quad (3)$$

Donde:

δ : Dotación de cálculo

P_n: Población futura a servir en el año n.

Así α_1 permite pasar del consumo medio diario al consumo máximo diario, mediante la Ecuación 4. Este coeficiente es siempre mayor que uno (1).

$$QD_n = QC_n \cdot \alpha_1 = \delta \cdot P_n \cdot \alpha_1 \quad (4)$$

Por su parte α_2 permite pasar del consumo máximo diario (QD_n) al consumo máximo horario (QE_n), mediante la Ecuación 5. Este coeficiente es siempre mayor que uno (1).

$$QE_n = QD_n \cdot \alpha_2 = QD_n \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 = \delta \cdot P_n \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \quad (5)$$

Denominado α al producto entre α_1 y α_2 , QE_n puede expresarse como se indica en la Ecuación 6.

$$QE_n = QC_n \cdot \alpha \quad (6)$$

6.3. Coeficientes de Caudales

Los consumos de agua en diferentes lugares, no son constantes en el tiempo. Presentan variaciones a lo largo del día considerado, como a lo largo del año.

Gráficamente la variación del consumo a lo largo del año, se puede representar tal lo indicado en la Figura 5, las abscisas representan los días del año y las ordenadas, los consumos promedio diario.

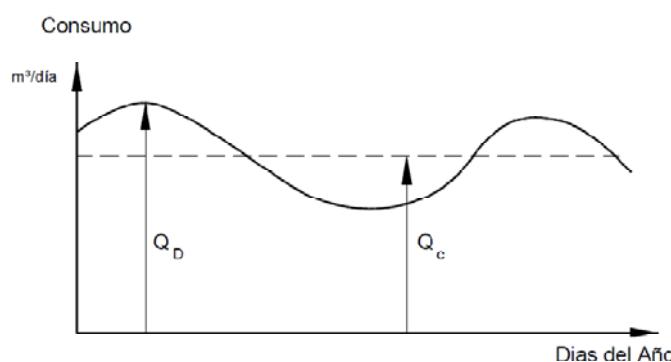


Figura 5. Variación del consumo durante el año

El valor Qc representa el valor medio del consumo durante todo el año.

En caso de considerar la variación horaria a lo largo de un día, tomamos aquel día en que se produzca el máximo consumo en el año. Se gráfica de la siguiente forma (Figura 6), tomando horas en abscisas y consumos horarios en ordenadas.

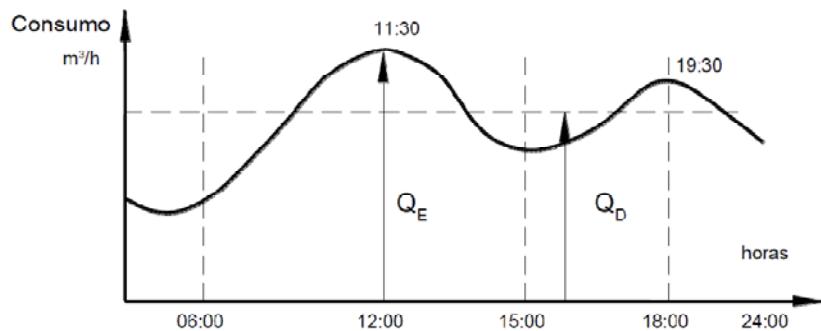


Figura 6. Variación del consumo durante el año

El valor promedio Q_D representa el valor medio del consumo de ese día a lo largo de las 24 horas que considera este gráfico.

La magnitud Q_E , es el valor de la ordenada correspondiente al máximo maximorum horario de ese día determinado, que llamaremos Caudal Máximo Horario.

Las relaciones que pueden establecerse entre los valores son las indicadas en las Ecuaciones 7 y 8.

$$\alpha_1 = \frac{QD_n}{QC_n} \quad (7)$$

$$\alpha_2 = \frac{QE_n}{QD_n} \quad (8)$$

El coeficiente α que liga al caudal QE con el caudal medio QC se obtiene de la Ecuación 9.

$$\alpha = \alpha_1 \cdot \alpha_2 = \frac{QE_n}{QC_n} \quad (9)$$

La gráfica de la variación diaria depende fundamentalmente de las características del consumo de las áreas a servir, que han sido detalladas previamente.

Generalmente, para poblaciones ubicadas en zonas cálidas o templadas, el día de máximo consumo corresponde normalmente a uno de los más tórridos del año. En nuestro país, es generalmente uno de los últimos días de diciembre o de comienzo de enero.

Las relaciones α_1 y α_2 surgen de datos obtenidos de registros confiables ininterrumpidos, de no menos de los últimos 36 meses, de consumos de agua potable o de descargas cloacales de la

población a servir. Cuando no se cuente con estos datos se pueden adoptar los valores especificados en la Tabla 4.

Tabla 4. Coeficientes de caudal

Población servida	α_1	α_2	α	β_1	β_2	β
500 h < $P_s \leq 3.000$ h	1,4	1,9	2,66	0,6	0,5	0,3
3.000 h < $P_s \leq 15.000$ h	1,4	1,7	2,38	0,7	0,5	0,35
15.000 h < P_s	1,3	1,5	1,95	0,7	0,6	0,42

7. CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO HIDRÁULICO DE CAÑERÍAS

7.1. Gasto Hectométrico (G_{Hm})

El gasto hectométrico se define como el cociente entre el consumo máximo horario (QEn) dividido por la longitud total (L_{Total}) de cañerías de la red (principales más secundarias sobre las que se conectan usuarios), es el caudal consumido por unidad de longitud (Ecuación 10).

$$G_{Hm} [l/s \cdot hm] = QEn / L_{Total} \quad (10)$$

Conociendo el gasto hectométrico, uniforme para toda la red, se puede calcular el gasto correspondiente a cada uno de los tramos.

7.2. Gasto en Ruta (gr)

Gasto en ruta es el caudal en el tramo generado por el consumo de los usuarios. Se calcula multiplicando el gasto hectometrítico por la longitud del tramo (Ecuación 11).

$$g_r [l/s] = G_{Hm} \cdot L \quad (11)$$

Dónde:

L [hm] = longitud de cañería principal del tramo mas longitud de cañería secundaria que se abastece de ese tramo.

7.3. Gasto Total (gr)

Considerando al gasto en extremidad (ge) al caudal que debe abastecer a los tramos subsiguientes de un tramo el gasto total se considera como la suma de este con el gasto en ruta del propio tramo (Ecuación 12)

$$g_T[l/s] = gr + ge \quad (12)$$

7.4. Gasto de Cálculo (gc)

Para calcular el diámetro de las cañerías, deben usarse ambos caudales, gr y ge, hay que tener en cuenta que el gasto en ruta no recorre todo el tramo en análisis, sino que disminuye a medida que se avanza en el sentido del escurrimiento. De allí que para calcular las pérdidas de carga se deba recurrir a un gasto ficticio denominado gasto de cálculo (gc), el que es considerado uniforme de un extremo al otro del tramo.

Se define este gasto de cálculo (gc) sumando el gasto en extremidad del tramo el 50% del gasto en ruta del correspondiente tramo, a fines práctico se adopta de esta manera para no sobredimensionar la cañería (Ecuación 13).

$$gc = ge + 0,5 \cdot gr \quad (13)$$

El cálculo de caudales se inicia desde los tramos que convergen a los puntos de equilibrio, donde usualmente ge será nulo, hasta completar el total de los tramos que componen la red de distribución.

Al final deberá controlarse como verificación que la sumatoria de los gastos en ruta de todos los tramos sea igual al gasto total. El gasto total en el nudo de alimentación de la red vale entonces $gt = \sum gr$.

7.5. Métodos de Cálculo

Para dimensionar las cañerías y determinar el diámetro de los distintos tramos es necesario establecer la pérdida de carga. Para ello existen diferentes criterios de cálculo.

- *Metodo Standard*: supone que las pérdidas de carga en el trayecto de la cañería se producen según una línea piezométrica recta para todo el ramal, que une el fondo del tanque con el punto de carga mínima, en cada uno de los extremos de ramal o puntos de equilibrio fijados. Este criterio de cálculo cubre aspectos técnicos, pero su aplicación resulta antieconómica al considerar para todo el ramal un único caudal de cálculo y consecuentemente todo el ramal tendrá igual diámetro.
- *Método de Mannes*: plantea la condición de costo mínimo de la red para una pérdida de carga disponible constante, resultando la línea piezométrica una parábola. Este método está basado en la consideración de que el diámetro de las cañerías es una variable de tipo continuo, donde su línea piezométrica tiene variación parabólica con su mayor curvatura en el origen (mayor pérdida de carga por circular mayor caudal), cubriendo de esta forma aspectos técnicos y económicos. Si se logra este tipo de línea piezométrica se tiene el menor peso de cañería por red. En la práctica y sobre todo en redes grandes, este método es inaplicable, por ser limitado el número de diámetros comerciales.
- *El Metodo Standard Mejorado* se basa en el cálculo del ramal tramo por tramo suponiendo un gasto constante en cada uno de ellos, resultando una línea piezométrica con forma de parábola cóncava hacia arriba, es decir que se forma una poligonal parabólica que tiende a seguir la parábola de Mannes (pendiente creciente a medida que se aproxima al tanque). En este método, el criterio económico indica utilizar mayores pérdidas de carga en los tramos próximos al tanque, disminuyéndolas en los tramos finales, de forma tal que la línea piezométrica real quede siempre por debajo de la teórica lineal y tienda a una envolvente parabólica. Cada tramo que conforma el ramal tendrá su pérdida de carga unitaria y su correspondiente caudal de cálculo, resultando del dimensionado diámetros diferentes en cada tramo. Este método cubre aspectos técnicos y económicos al aproximar su línea piezométrica poligonal a la línea piezométrica parabólica establecida por Mannes.

En la Figura 7 se puede apreciar esquematizadas las líneas piezométrica de cada método.

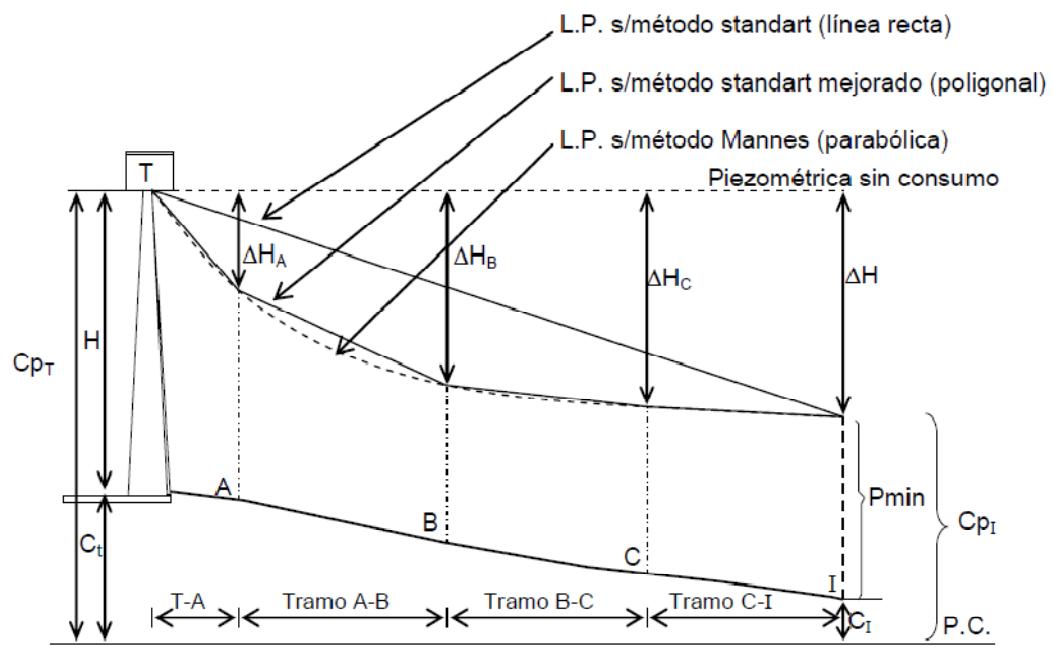


Figura 7. Esquema de líneas piezométrica a lo largo de un ramal según los distintos criterios de cálculo