

Capítulo 3. Sistemas de alcantarillado: ingeniería y tecnología.

Una ciudad no puede subsistir sin el abastecimiento de agua potable. El suministro resulta una necesidad fundamental para sus habitantes, pero una vez utilizada ésta, la ciudad genera aguas residuales. En este capítulo se presentan las principales características de las aguas residuales, así como la tecnología básica necesaria para coleccionar, transportar, tratar, verter y reutilizar esas aguas; tecnología que debe contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes y generar el menor impacto posible al ambiente. También se abordan técnicas alternativas para el desalojo de residuos líquidos así como técnicas que no utilizan agua como vehículo para el desalojo de excretas.

3.1 Aguas residuales: definición y características

Es necesario abordar en primera instancia una caracterización del concepto de aguas residuales para entender su naturaleza, composición e impacto al medio ambiente. El término *aguas residuales* se define como:

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (NOM-001- SEMARNAT -1996)

Las aguas pluviales, superficiales y en ocasiones las de origen subterráneo, se pueden incorporar también a esta composición variada.

El agua —a diferencia del aire— tiene una composición precisa (H₂O) y por lo tanto, es fácil identificar los compuestos ajenos a ella. Como resultado de sus diversos usos descritos en

la definición anterior, el agua residual contiene una serie de contaminantes, los cuales son generadores de impactos negativos al medio ambiente; la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA 2011) define como *contaminante* a:

Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.

Para la caracterización de las aguas residuales, es necesario introducir el concepto *calidad del agua*, el cual se refiere «al conjunto de características físicas, químicas y biológicas, clasificadas en relación con características modelo determinadas» (Jiménez 2001); las características modelo a cumplir al ser vertidas, para la República Mexicana, se encuentran en la Normas Oficiales Mexicanas (NOM)¹.

Las características físicas, químicas y biológicas de a las aguas residuales se describen a continuación:

Características físicas

Sólidos

El contenido total de sólidos, engloba en este término a la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal² y la materia disuelta.

Se define el contenido de sólidos totales a la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105°C. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (Cono de Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos.

Los sólidos totales pueden ser o no filtrables; la fracción filtrable de los sólidos corresponde a los sólidos disueltos totales. La fracción no filtrable de los sólidos corresponde a los sólidos suspendidos totales. Ambas categorías de sólidos pueden ser divididas en función de su volatilidad a 550 ± 50 °C, a esta temperatura, la fracción orgánica se oxidará y

¹ Véase: *Vertido de efluentes* en el subcapítulo 3.3 «Tratamiento de aguas residuales», donde se indican las NOM a cumplir en función del sitio de vertido o reutilización de las aguas residuales.

² La materia coloidal «Tiene un diámetro equivalente entre 0.001 y 1µm y se caracteriza por tener una sedimentación muy lenta» (Jiménez 2001). Un µm equivale a una milésima parte de un milímetro, es decir, a una millonésima parte de un metro (10^{-6} m)

dispersará en forma de gas, dejando a la parte inorgánica en forma de cenizas. Los *sólidos filtrables* que se volatilizan se denominan sólidos disueltos volátiles y los que permanecen en forma de ceniza son los sólidos disueltos fijos. Los *sólidos no filtrables* que se volatilizan se denominan sólidos suspendidos volátiles y los que permanecen en forma de ceniza son los sólidos suspendidos fijos.

Olor

Los olores en las aguas residuales son causados por los gases liberados por la descomposición de la materia orgánica, formando metano (CH_4), sulfuro de hidrógeno (H_2S), amoníaco (NH_3) y dióxido de carbono (CO_2), principalmente. La problemática de los olores se considera de vital importancia, tanto para el diseño de redes de alcantarillado, la ubicación de las plantas de tratamiento y la correcta evacuación de las aguas residuales, debido a lo desagradables que son; surtiendo así efecto negativo en la población como lo son náuseas, reducción de apetito y en general una disminución de la calidad de vida. En un sistema de alcantarillado debe haber una adecuada ventilación para que no se acumulen dichos gases, pues resultan venenosos y altamente explosivos.

Temperatura

En el agua residual, es una medida de la cantidad de calor contenida en ella, siendo ésta un poco mayor, por lo general, de la correspondiente al agua de abastecimiento. La temperatura influye sobre la tasa de crecimiento microbiológico, reacciones químicas y solubilidad de los contaminantes. Interviene también en la solubilidad del oxígeno en el agua, la cual es inversamente proporcional a la temperatura.

Color

El agua residual reciente tiene un color grisáceo y mientras transcurre el tiempo y su proximidad a *condiciones anaerobias*³, el color cambia a gris oscuro hasta llegar a negro. El color indica de esta manera la edad del agua residual.

Turbiedad

³ Las condiciones anaerobias en el agua residual indican la ausencia de oxígeno disuelto en ella, lo cual favorece la existencia de bacterias anaerobias que generan olores desagradables.

Es una medida de la transmisión de luz en el agua, una característica empleada para indicar la calidad de la misma y en el caso de agua residual, se da en relación con la materia que tiene tanto en suspensión como en estado coloidal.

Características químicas.

Materia orgánica

Cerca del 75% de los sólidos suspendidos (no filtrables) y 40% de los sólidos disueltos (filtrables) de un agua residual promedio son de naturaleza orgánica. La materia orgánica presente en las aguas residuales es de origen animal, vegetal y de compuestos orgánicos sintéticos de manufactura humana. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, es posible la presencia de azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de materia orgánica que se encuentran en el agua residual son las proteínas, carbohidratos, grasas y aceites.

Para medir el contenido orgánico, son utilizados diversos parámetros indirectos: La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_{5-20})⁴ es la medida de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica en el agua en 5 días a 20°C. La DBO nos da una idea de la biodegradabilidad de la materia orgánica, se mide en $mg\ O_2/l$ (miligramos de oxígeno por litro). La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es la medida de la concentración de las sustancias que en agua pueden ser atacadas por un oxidante fuerte, tal como el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) a altas temperaturas (350°C). La DQO no siempre guarda relación con la DBO aunque por lo general, es mayor. El Carbono Orgánico Total (COT) indica el contenido total de carbono (C) en su forma orgánica.

pH

La concentración de iones hidruro H^+ es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el agua de abastecimiento como las aguas residuales, pues está muy estrechamente relacionada con la cuantía en que se disocian las moléculas de agua (en iones hidruro H^+ e hidroxilo OH^-). La determinación del pH es una característica determinante en el momento de la elección del tratamiento biológico a utilizar. El valor de pH es el cologaritmo de la concentración de los iones hidrogeno, la escala de valores varía entre 0 y 14; si los valores se

⁴ A la DBO_{5-20} se le refiere simplemente como DBO

encuentran por debajo de 7 la solución es ácida, si su valor es 7 se dice que es neutra y si rebasa este valor entonces es alcalina.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Alcalinidad

Es la concentración de iones hidroxilo (OH^-) que hay en solución. La alcalinidad expresa la capacidad que tiene un agua de mantener su pH a pesar de recibir una solución ácida o alcalina, midiendo la concentración de iones hidroxilo, bicarbonatos y carbonatos. La alcalinidad se determina mediante la titulación con un ácido y el resultado se expresa en $\text{mg CaCO}_3 / \text{l}$ (miligramos de carbonato de calcio por litro).

Nitrógeno

El nitrógeno es en la mayoría de los casos —como el fósforo en otros— el principal elemento que sirve como nutriente a ciertos microorganismos, pues es básico para la síntesis de proteínas y es necesario conocer su cantidad para valorar la posibilidad de un tratamiento mediante procesos biológicos en las aguas residuales. Puede presentarse en diferentes estados de oxidación: nitrógeno orgánico N^{3-} (-3 a -1), nitrógeno amoniacal, en forma de amonio NH_4^+ ($+3$), nitritos NO_2^- ($+3$), y nitratos NO_3^- ($+5$) presentes como producto del metabolismo bacteriano.

Metales pesados.

Los metales en aguas residuales indican una contaminación industrial, son tóxicos, y están catalogados muchos de estos como contaminantes prioritarios, destacan entre éstos, el níquel (Ni), el manganeso (Mn), el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cadmio (Cd), el zinc (Zn) y el hierro (Fe).

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los *microorganismos aerobios*⁵, así como para otras formas de vida, siendo así un parámetro importante para evaluar la calidad del agua. En aguas residuales la ausencia de oxígeno genera olores desagradables debido a la descomposición anaerobia de la materia orgánica, entonces, para evitar la formación de dichos olores, es deseable y conveniente disponer de cantidades de oxígeno disuelto suficientes

⁵ Los microorganismos aerobios son aquellos que necesitan oxígeno para poder sobrevivir.

Características biológicas

La degradación de la materia orgánica contenida en las aguas residuales, es el resultado de la actividad que desarrollan los microorganismos que la utilizan como alimento. También es importante considerarlos desde el punto de vista de la salud pública, pues muchos de ellos son organismos *patógenos*⁶

Una clasificación de microorganismos conveniente es la que realiza la Dra. Jiménez Cisneros (2001) en tres apartados:

- De acuerdo a los requerimientos de oxígeno:

Aerobios: necesitan la presencia de oxígeno libre para vivir.

Facultativos: subsisten preferentemente en un ambiente con oxígeno, pero pueden vivir sin él.

Anóxicos: en ausencia de oxígeno disuelto, emplean el oxígeno oxígeno combinado, como el dióxido de azufre (SO₂) o los óxidos de nitrógeno (NO_x).

Anaerobios: Sólo pueden vivir en ausencia de oxígeno.

- De acuerdo con la temperatura de desarrollo óptimo:

Sicrofílicos: viven en 0 °C.

Mesofílicos: los más comunes viven entre 15 y 40 °C.

Termofílicos: se desarrollan entre 50 y 70 °C.

- Según sea el tipo de microorganismos:

Algas: organismos microscópicos que requieren de la luz para realizar funciones vitales.

Bacterias: Microorganismos unicelulares, con o sin núcleo definidos o no por una membrana, todos carentes de membrana nuclear. Las hay aerobias y anaerobias, dependiendo de su demanda de oxígeno. Sus formas pueden ser alargadas (bacilos), esféricas (cocos) o espirales (espirilos), se reproducen por bipartición (división celular sencilla) o por esporas; las hay no patógenas, oportunistas o patógenas. Emplean el alimento en forma soluble. El papel que desempeñan las bacterias en el proceso de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento, son de gran importancia; aunque también cobran importancia dentro del marco de la salubridad, pues

⁶ Patógeno: «que origina y desarrolla una enfermedad» (RAE 2007)

algunas son causantes de problemas gastrointestinales, cólera, tifoidea y salmonelosis, entre otras.

Hongos: son pluricelulares, obtienen sus nutrientes de la materia orgánica en descomposición y junto con las bacterias son responsables de la descomposición de carbono en la biosfera.

Protozoarios: también llamados protozoos, son organismos unicelulares más complejos que las bacterias, algunos de ellos son patógenos como por ejemplo las amebas.

Virus: Son los microorganismos más pequeños que existen, compuestos de proteínas y ácidos nucleicos formados por un cordón de material genético —ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (RNA)— únicamente se pueden reproducir en el núcleo de células vivas específicas, utilizando el metabolismo de las mismas. Son parasitarios y por razones de salud pública, son muy importantes en el tratamiento de las aguas residuales.

Los microorganismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados y para identificar su presencia, se emplean organismos indicadores; de ellos, los más utilizados son los coliformes y los estreptococos fecales⁷. Los coliformes pueden ser fecales, e indican una contaminación por excretas de animales de sangre caliente, incluyendo a los humanos (heces) y los no fecales; la suma de ambas se conoce como coliformes totales. Esta división es útil pues la presencia de coliformes no siempre es sinónima de contaminación con residuos humanos. El grupo de los estreptococos fecales se utiliza para determinar las fuentes de contaminación fecal reciente.

Constitución típica de las aguas residuales domésticas

Existen ciertos constituyentes contaminantes típicos en el agua residual doméstica, aunque pueden variar —en existencia y grado de concentración— en función de la hora del día, el día de la semana, del mes del año y de diversas condiciones climatológicas; pero en general, los contaminantes que se presentan típicamente en el agua residual doméstica —no necesariamente suficientes para una caracterización completa— se presentan en la tabla 3.1.

⁷ López Ruiz (2003) considera organismo indicador a los estreptococos fecales, mientras que Metcalf & Eddy (1995) argumenta su impedimento como tal.

Tabla 3.1 Composición típica del agua residual doméstica

Contaminantes	Concentración		
	Baja	Media	Fuerte
Sólidos totales	350	720	1,200
Sólidos disueltos totales	250	500	850
Sólidos disueltos fijos	145	300	525
Sólidos disueltos volátiles	105	200	325
Sólidos suspendidos totales	100	220	350
Sólidos suspendidos fijos	20	55	75
Sólidos suspendidos volátiles	80	165	275
Sólidos sedimentables en ml/l	5	10	20
DBO ₅₋₂₀	110	220	400
DQO	250	500	1000
Carbono orgánico total	80	160	290
Nitrógeno total	20	40	85
Nitrógeno orgánico	8	15	35
Amoníaco libre	12	25	50
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo total	4	8	15
Fósforo orgánico	1	3	5
Fósforo inorgánico	3	5	10
Alcalinidad (como CaCO ₃)	50	100	200
Grasa	50	100	150
Coliformes totales en NMP/100ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Coliformes fecales en NMP/100ml	10 ³ -10 ⁵	10 ⁴ -10 ⁶	10 ⁵ -10 ⁸

Fuente: Tabla modificada a partir de la tabla de Metcalf & Eddy (1995)

El agua residual puede ser fresca, séptica, o estabilizada. Se considera fresca cuando es recién contaminada; aún contiene oxígeno disuelto y combinado; es de color gris y con muchos sólidos suspendidos. Es séptica cuando no contiene oxígeno disuelto, por ende hay actividad microbiana anaerobia, su color es negro y el olor es completamente desagradable debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno ó Ácido sulfhídrico (H₂S). El agua es

estabilizada cuando nuevamente contiene oxígeno disuelto, su olor es ligero o nulo y tiene apariencia translúcida.

El conocimiento de la composición de las aguas residuales, es la directriz en la elección del tipo de tratamiento requerido específico para cada comunidad, población, municipio o ciudad bajo saneamiento; por ello, considerando el concepto de calidad del agua, se deberá cumplir con las características modelo contenidas en la normatividad vigente.

Las aguas residuales contienen de manera usual enormes contenidos de microorganismos patógenos causantes de una diversa gama de enfermedades, así como materia orgánica que al descomponerse provoca grandes emisiones de gases con olores pestilentes, y en el caso de las aguas de origen industrial, desechos que contienen compuestos tóxicos. Debido a esto, el desalojo de las aguas residuales se vuelve una necesidad fundamental para el ser humano; necesidad que debe ser resuelta mediante los sistemas de alcantarillado para el mejoramiento de las condiciones de vida de la población y el cuidado de la salud colectiva, adaptando el ambiente físico mediante la infraestructura necesaria. Pero la visión antropocéntrica de la función de los sistemas de alcantarillado no es una justificación suficiente, puesto que las aguas residuales son un factor para la contaminación y destrucción del entorno natural, haciendo que dichos sistemas resulten de gran importancia para su conservación.

3.2 Alcantarillado

Definición, tipos y características

Alcantarillado es el *sistema* de conductos subterráneos denominados alcantarillas, accesorios y obras complementarias —incluyendo plantas de tratamiento— destinados a la colección y transporte de aguas residuales, de lluvia o la combinación de ambas para conducir las, tratarlas y verterlas a un punto de disposición final⁸, o para ser reutilizadas.

A partir de esta definición, los sistemas de alcantarillado pueden clasificarse —de acuerdo a su propósito— de tres maneras: alcantarillado sanitario, que recauda a las aguas residuales de origen doméstico, comercial e industrial; alcantarillado pluvial, para permitir la

⁸ En muchas ocasiones las alcantarillas conducen el agua directamente al punto de descarga sin el tratamiento previo.

captación y el rápido desalojo de aguas de lluvia y el combinado, destinado para aguas residuales en mezcla con aguas de lluvia.

Para el diseño de los sistemas de alcantarillado sanitario, es necesario considerar el tipo de uso de suelo de la zona a servir —zona habitacional, industrial o comercial— y determinar el número de habitantes y su proyección su crecimiento durante un periodo de diseño; su dotación de agua potable, y estimar su consecuente aportación de aguas residuales. Con estos datos hidráulicamente se deben determinar los gastos de diseño para el dimensionamiento de las tuberías, las pendientes y velocidades mínimas y máximas que permitan un funcionamiento adecuado. La definición del trazado de la red deberá tomar en cuenta las menores longitudes posibles al sitio de tratamiento y vertido acorde a la topografía y configuración urbana del lugar.

En el diseño de los sistemas de alcantarillado pluvial, debe ser definido el trazo y ser recabada información pluvial de las estaciones climatológicas dentro y cerca de la zona a drenar, para poder determinar la tormenta o lluvia de diseño empleando las curvas de intensidad – duración – periodo de retorno a partir de análisis estadísticos de frecuencias, o a partir de isoyetas de intensidad de lluvia emitidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Posteriormente se determinan los gastos de diseño para el dimensionamiento de las tuberías y estructuras complementarias mediante modelos de lluvia-escurrimiento, siendo uno de los más utilizados el Método Racional Americano, en el cual se relacionan como variables a la intensidad de lluvia asociada a una superficie de cuenca vertiente tributaria y a un coeficiente de escurrimiento.

Los sistemas de alcantarillado combinados captan y transportan tanto aguas residuales como pluviales, por lo que en apariencia son más económicos, pero debido a los altos volúmenes de agua que implican ser manejados en plantas de tratamiento, resulta conveniente diseñar y construir sistemas separados, pues esto permite la utilización de plantas de tratamiento de dimensiones y costos menores y un aprovechamiento adecuado de las aguas pluviales captadas, las cuales pueden ser reutilizadas con un tratamiento ligero o inclusive sin tratamiento.

Existen diferentes tipos de conductos en un sistema típico de alcantarillado para una ciudad, los cuales poseen funciones diferentes:

Albañales: Se utilizan en los sistemas de alcantarillado sanitario, captan las aguas residuales generadas en un predio y las canalizan hacia una atarjea, por lo general sus dimensiones son de 0.20 m de diámetro.

Atarjeas: Reciben las aguas residuales proveniente de los albañales o las aguas pluviales de las coladeras y rejillas para ser conducidas hacia un colector, sus dimensiones en general son de 0.30, 0.38 y 0.45 m de diámetro.

Colectores: Son alcantarillas de un tamaño mayor que transportan el agua residual de las atarjeas u otros colectores hacia interceptores o emisores, sus dimensiones son de 0.61, 0.76, 0.91, 1.07, 1.22, 1.52, 2.13 y 3.05 m de diámetro

Interceptores: Son colectores utilizados para interceptar y recoger el agua residual de uno o varios colectores.

Emisor: Es el conducto que transporta los volúmenes de agua captado por todo el sistema de tuberías que constituye a la red de alcantarillado, hasta la planta de tratamiento. Las dimensiones de los emisores son los mismos que para los colectores

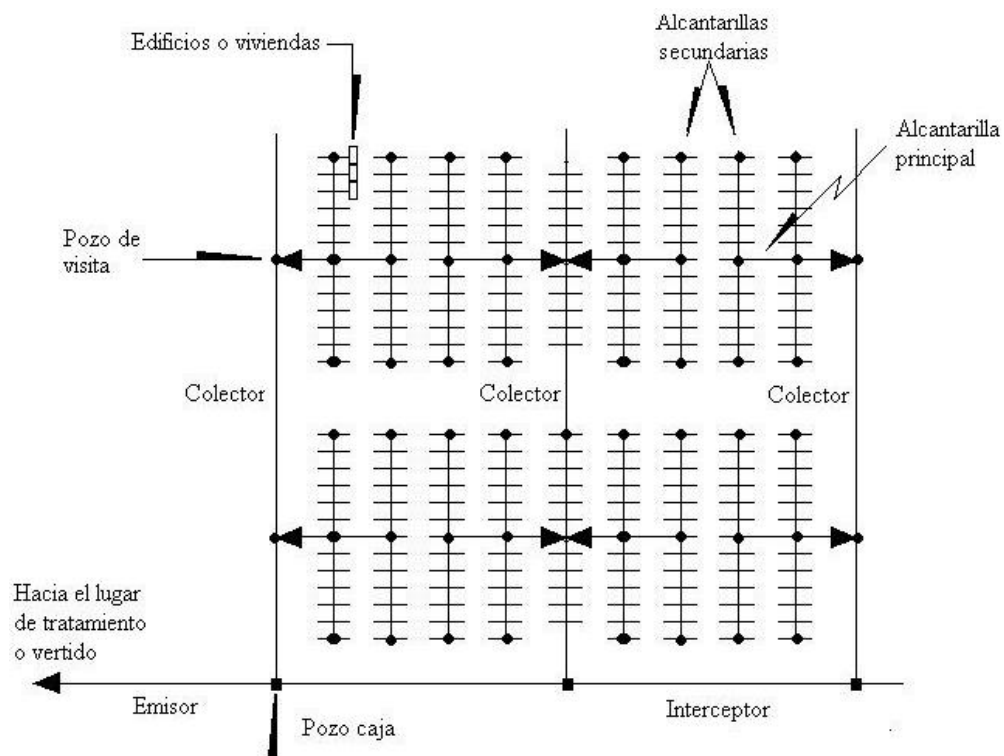


Fig 3.1 Representación esquemática de los diversos tipos de alcantarillas

La circulación en los sistemas de alcantarillado es por gravedad, aunque también pueden trabajar a presión los colectores, interceptores y emisores en los sistemas pluviales o combinados, debido a los gastos de origen pluvial que pueden llegar a presentarse.

Las redes de atarjeas se trazan de manera usual de tres maneras:

En bayoneta: La configuración de este trazo presenta atarjeas en zigzag por las calles, sin confluir en los pozos de visita las medias cañas correspondientes, manteniendo sus gastos por separado.

En peine: Este trazo se configura por atarjeas perpendiculares a otra atarjea de mayor diámetro, o a un colector, el cual recibe las aguas recolectadas.

Combinado: Como su nombre lo indica, este trazo tiene las características de los dos anteriores.

Algunos de los trazados que pueden realizarse para colectores, interceptores o emisores, son los siguientes:

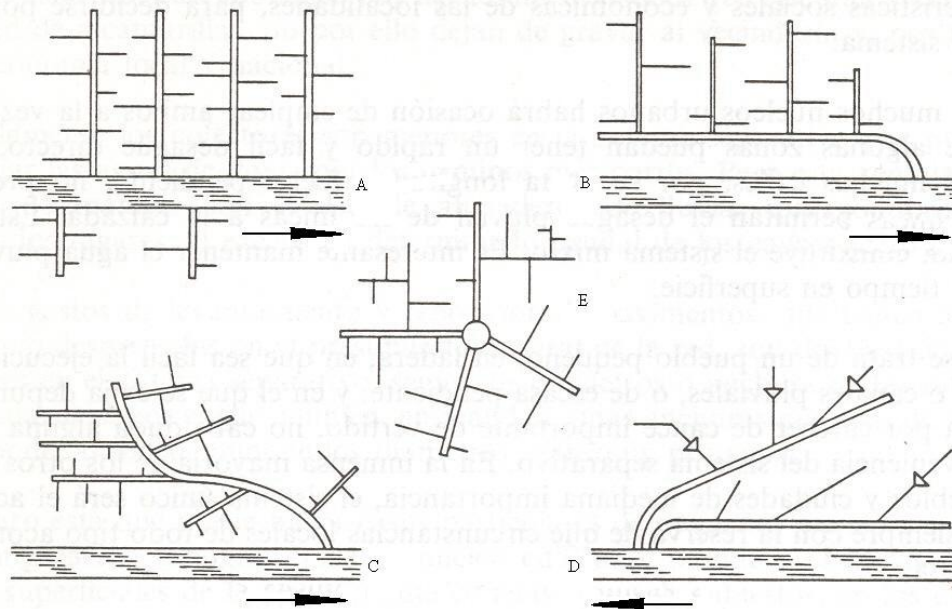


Fig
3

.2 Trazados posibles de evacuación por gravedad

- A. Canalización transversal, donde se evacua directamente al cuerpo receptor de manera perpendicular, sin previo tratamiento, bajo el argumento que debido a que el cuerpo receptor deben ser ríos de gran caudal, se presenta una dilución de las aguas residuales.

Debido a los altos niveles de contaminación en los cuerpos de agua, en la actualidad este trazado debe estar fuera de aplicación.

- B. Canalización transversal con emisor, donde puede instalarse algún sistema de tratamiento después de recolectada el agua y antes de su disposición al cuerpo receptor. El emisor es paralelo y con una pendiente similar al río hasta el punto de vertido.
- C. Canalización longitudinal o por zonas, mediante colectores paralelos al cauce y un emisor con que permita el tratamiento y descarga en un punto
- D. Canalización en abanico, realizado a base de colectores ramificados hacia diferentes zonas, y reunidos en un lugar para el vertido; al igual que la canalización transversal, no es aplicable en la actualidad si no hay tratamiento previo.
- E. Canalización radial, donde se sanea en varias zonas con canalizaciones independientes, cuyas aguas se reúnen después en algún punto donde se localice un cárcamo de rebombeo, o una planta de tratamiento.

Dependiendo de la población, de sus diversas necesidades, el terreno y su configuración urbana, así como el factor económico, es posible adoptar soluciones específicas en los trazados de acuerdo a condiciones concretas, que no correspondan con los esquemas mostrados, o que sean una combinación de ellos.

Los conductos de los sistemas de alcantarillado están conformados por tubos acoplados con un sistema de unión, dichos tubos pueden ser fabricados por diversos materiales, como lo son el concreto simple, el concreto armado, el fibrocemento, el cloruro de polivinilo (PVC) y el polietileno de alta densidad (PEAD); cada material presenta ventajas y desventajas que deben considerarse al momento de proyectar un sistema de alcantarillado.

Las alcantarillas de concreto simple y armado presentan beneficios económicos al no presentar altos costos de adquisición y mantenimiento, son durables, con juntas herméticas espiga campana con anillos de hule y tienen una amplia variedad en diámetros, siendo de concreto simple de 0.10 y hasta 0.61 m, y de concreto armado desde 0.30 m hasta 3.05 m y con cuatro grados de resistencia del concreto, son especialmente resistentes a las cargas externas, Como desventajas presentan un grado de fragilidad al momento de su colocación, son hidráulicamente menos eficientes que los tubos de otros materiales debido a la rugosidad interna que presentan, y son susceptibles a la corrosión. En el caso de emisores a presión, son recomendables los tubos de concreto pretensado, aunque representa un costo elevado.

La tubería de fibrocemento tiene un menor peso que las tuberías de concreto, lo que se traduce en procedimientos de transporte y colocación más sencillos. Su capacidad de conducción hidráulica es mayor que la de los tubos de concreto debido a un bajo coeficiente de fricción, su sistema de junteo a base de anillos de hule y coples proporciona hermeticidad, presentan resistencia a los sulfatos. Su desventaja es un costo de adquisición alto y fragilidad durante su transporte e instalación.

La tubería de cloruro de polivinilo $[(CH_2-CHCl)_n]$ (PVC) se presenta en dos tipos de serie: la métrica y la inglesa, cada uno tiene tres clasificaciones de tipos de tubería acorde a la relación de diámetro exterior y espesor de la pared; también se encuentran en el mercado tuberías de PVC de pared estructurada. Su constitución es ligera, resistente a la corrosión, por lo que no necesitan protección anticorrosiva. Hidráulicamente es altamente eficiente debido a las paredes poco rugosas e impermeable por las características propias del material; es flexible, por lo que puede adaptarse ante movimientos diferenciales del terreno. Para la unión de tuberías existen dos posibilidades, mediante cementante o espiga campana con anillo elastomérico. Entre sus desventajas se encuentra su baja resistencia al intemperismo, que incide directamente en la calidad de sus características mecánicas, son frágiles en su manejo y son susceptibles al ataque de roedores. En el mercado hay disponibilidad de tamaños de hasta 0.91m de diámetro.

Los conductos de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) se clasifican de acuerdo a su RD, que indica la relación diámetro con el espesor de la pared, y es indicador de su resistencia, la unión de los tubos es mediante termofusión. Tiene múltiples ventajas como una elevada resistencia a la corrosión, alta flexibilidad que permite la adaptación de la tubería ante movimientos del terreno o cargas externas, son herméticas, impermeables y ligeras por las propiedades intrínsecas del polietileno, son durables e impiden el desarrollo biológico en su superficie. Su instalación es rápida y su sistema de unión evita el uso de piezas especiales, aunque es necesaria mano de obra especializada en el procedimiento de unión, denominado termofusión, pues si esta es inadecuada puede presentar filtraciones a corto plazo. Su principal desventaja radica en el costo al ser elevado respecto a otros materiales.

Tomando en cuenta las ventajas de cada material, es posible determinar las cualidades exigibles a las alcantarillas, que en resumen, deben ser:

- Un funcionamiento hidráulico eficiente, es decir, que el agua residual circule dentro de un rango de velocidades que no permitan la sedimentación al ser demasiado bajas o

dañen al sistema al ser demasiado altas; el fabricante de cada tipo de tubería establece este rango. También es indispensable que la tubería posea la capacidad hidráulica para transportar el volumen de aguas requerido.

- Resistencia a los movimientos del terreno y a las cargas exteriores.
- Estanquidad, es decir, la característica de no permitir el paso de agua a través de los tubos, accesorios y conexiones.
- Resistencia a la corrosión exterior y al ataque de agentes en el agua residual, como por ejemplo, los ácidos.
- Durabilidad para cumplir con el periodo de diseño del sistema de alcantarillado

Debe garantizarse que nunca esté en contacto la red de alcantarillado con la de abastecimiento de agua potable estando siempre ésta última en un plano superior a la de saneamiento. La distancia de seguridad entre ambas siempre será de un metro, geométricamente como la distancia mínima entre dos rectas en el sentido vertical; para el sentido horizontal, en la práctica constructiva se utiliza la distancia mínima de uno y medio a dos veces el diámetro de la tubería de mayor diámetro, como distancia entre paños de los tubos.

Instalaciones complementarias en los sistemas de alcantarillado

Los sistemas de alcantarillado deben estar provistos con instalaciones complementarias, las cuales tienen como finalidad asegurar que la red de alcantarillado funcione de acuerdo con lo establecido en el proyecto y de modo tal que puedan mantenerse en óptimas condiciones, se presenta de manera general algunas de ellas, tanto para sistemas sanitarios como para pluviales y combinados:

Descarga domiciliaria

La conexión en los sistemas de alcantarillado sanitarios o combinados entre albañales y atarjeas debe ser hermética, y se realiza básicamente mediante un codo y una pieza especial que permite dicha adaptación; esta conexión varía dependiendo el tipo de material de las atarjeas.

En las tuberías de concreto, la pieza especial de conexión denominada *slant* tiene en un extremo campana que se une a la espiga de un codo de 45°, en el otro extremo el *slant* tiene un corte a 45° también; en la atarjea se realiza una perforación con un tamaño igual al diámetro

exterior del slant, para ser unidos por medio de un cementante. En las tuberías de fibrocemento el procedimiento es similar, para unir el slant con la atarjea se utiliza pasta epóxica. En las tuberías de PVC la pieza de unión entre albañal y atarjea se denomina *silleta* con un extremo en campana para unir por medio de un anillo de hule al extremo en espiga del codo de 45°, y el otro extremo con un apoyo para unir a la atarjea por medio de un cementante o con abrazaderas, en este último caso es necesario incluir un anillo de hule para garantizar la hermeticidad; también es posible el uso de otras piezas especiales como Tees o Yees en lugar de la silleta. En las tuberías de PEAD se utiliza una pieza denominada *bota de inserción* fabricada de neopreno que se coloca en la atarjea previamente perforada; la bota se une con una pieza llamada casquillo el cual se conecta a un codo o directamente al albañal.

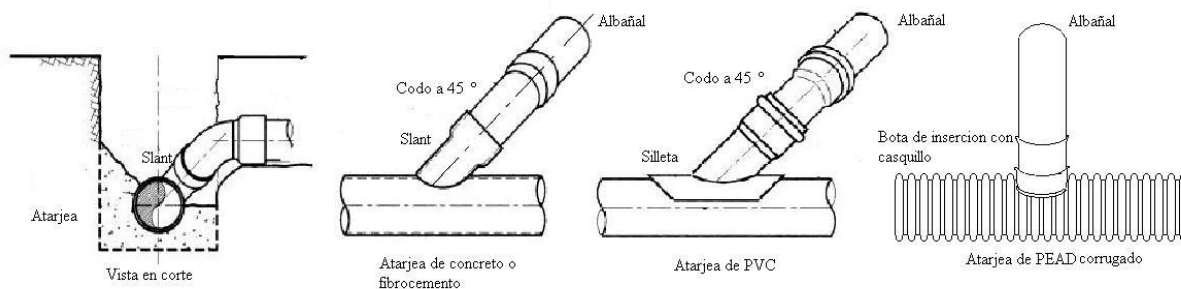


Fig 3.3 Descargas domiciliarias en función del material de la atarjea

Coladeras pluviales

Son estructuras —en los sistemas pluviales y combinados— que recolectan el agua que escurre sobre la superficie del terreno, para conducirlos a las atarjeas. Están constituidas por un desarenador donde quedan depositadas las partículas sedimentables, y una rejilla que permite la entrada del agua evitando el paso de objetos de mayor tamaño como ramas, piedras y basura. Existen coladeras pluviales de piso, de banquetas, las que contienen ambas se denominan combinadas, longitudinales y transversales. La elección del tipo de estructura de captación en los sistemas de alcantarillado depende de las condiciones pluviales y topográficas de sitio a drenar.

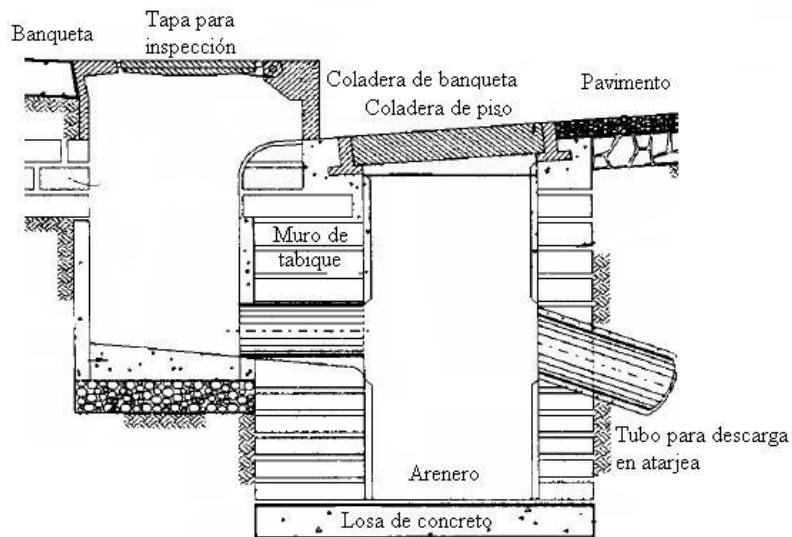


Fig 3.4 Estructura de coladera de piso y banquetta vista en corte transversal

Pozos de visita.

Los pozos de visita son estructuras de que permiten el acceso a las alcantarillas para su inspección, limpieza y ventilación; así como para realizar los cambios de dirección, pendiente y diámetro necesario en su trazado, o como punto de intersección de dos alcantarillas. Su forma es troncocónica en la parte superior y cilíndrica en su parte inferior, en la base tiene un canal comúnmente denominado media caña, que encauzan las aguas entre las alcantarillas adyacentes al pozo. En la parte superior tiene un diámetro interior de 0.60 m, el cual es suficiente para permitir su acceso, en la base su diámetro interior varía entre 1.20 y 2.10 m, el cual se encuentra en función del diámetro de la alcantarilla donde se encuentra colocado el pozo. Su altura está determinada por la profundidad de las alcantarillas acorde a las necesidades de funcionamiento del sistema.

Estas estructuras son generalmente de tabique rojo recocido y concreto cuando son construidas *in situ*, y polímero reforzado con fibra de vidrio o concreto polimérico cuando son prefabricadas; estas últimas tienen la ventaja de garantizar al 100% la hermeticidad. Para el descenso del personal operador, es necesario que estén provistas de peldaños de fierro fundido o acero en la pared. Para su acceso tienen un brocal a nivel de la calle donde descansa la tapa del pozo, ambas piezas pueden ser de concreto, fierro fundido o polietileno de alta densidad en los pozos de tabique o concreto; los accesorios como peldaños, brocales y tapas en los pozos prefabricados regularmente son del mismo material con el que están fabricados dichos pozos.

Para fines de su inspección y limpieza no deberán quedar muy alejados uno del otro; en la práctica se toma como distancia máxima 60 m entre cada pozo en el caso de atarjeas y 80 m en el caso de colectores, aunque CNA admite distancias mayores: 125m de separación en el caso de atarjeas y de 150m hasta 175m en el caso de colectores. En su caso, es el Sistema Operador quien fija la distancia máxima entre pozos, el cual está en función de la operación del sistema y de las características de su equipo de limpieza.

En los pozos de visita las alcantarillas de llegada y salida pueden coincidir en sus niveles de arrastre o plantilla⁹, pero cuando las condiciones topográficas o de proyecto lo hagan necesario, puede haber una diferencia de estos niveles, presentándose una caída; si ésta es mayor a 0.50m, es necesario el uso de pozos de visita con caída incorporada, el cual tiene una pantalla que sirve como deflector del caudal de caída, disipando su energía.

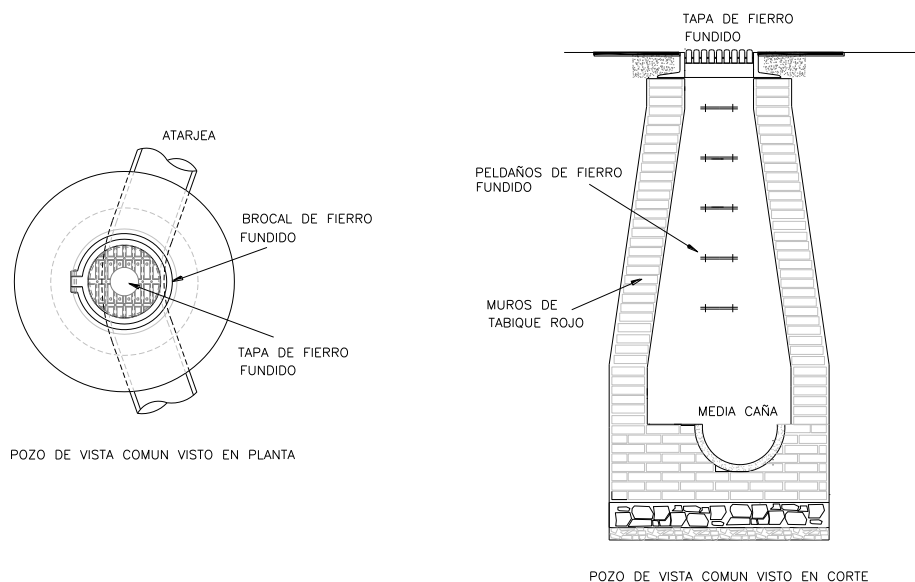


Fig 3.5 Pozo de registro de tabique rojo construido in situ.

Cajas

La función estas estructuras son principalmente para permitir el acceso, inspección, mantenimiento y ventilación del sistema de drenaje en colectores; así como el cambio de dirección, pendiente y diámetro; también permiten el entronque de atarjeas y colectores. Se

⁹ El nivel de arrastre o plantilla corresponde al nivel más bajo de la superficie interior de la alcantarilla.

componen esencialmente de una caja de concreto reforzado con chimeneas troncocónicas de tabique rojo recocido que inician en la losa tapa y terminan en el brocal y tapa a nivel de calle.

Las cajas ubicadas en los colectores que permiten en el entronque de atarjeas o colectores de hasta 0.76m de diámetro son denominadas *pozos caja*, y son de sección rectangular. Las cajas que permiten el entronque con colectores de más de 0.76m se denominan *cajas de conexión*, y son de sección poligonal. Las cajas que permiten la deflexión de colectores de más de 1.22m son conocidas como *cajas de deflexión*, y son de geometría poligonal. La deflexión en colectores con diámetro menor a 1.22m es posible realizarlos con pozos de visita.

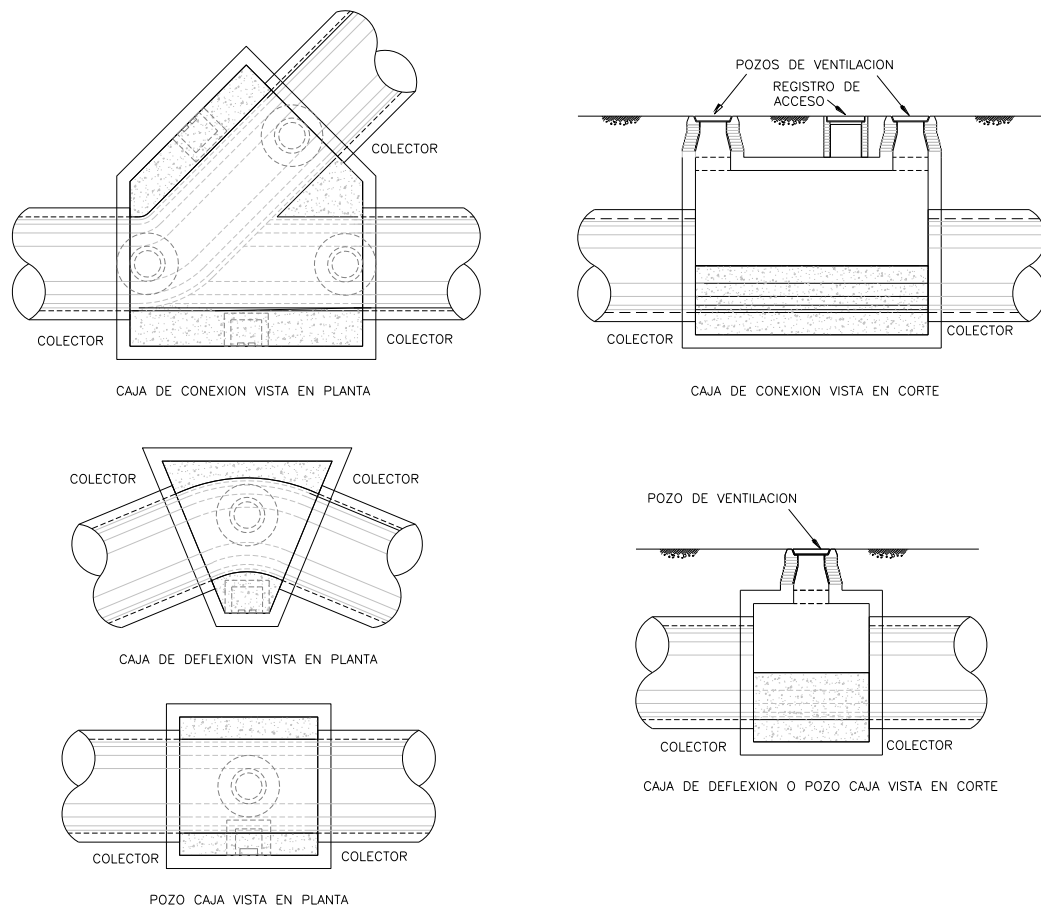


Fig 3.6 Estructuras de drenaje para colectores

Sifones invertidos

Los sifones invertidos son usados para pasar bajo construcciones como túneles y conducciones u obstáculos mediante una desviación vertical. Esta alcantarilla deprimida estará siempre trabajando a presión, es decir, a tubo lleno; por ello es necesario mantenerlos limpios para evitar obstrucciones. Por la naturaleza de los esfuerzos en las paredes, los cuales trabajan a presión, es recomendable tubos de acero o concreto.

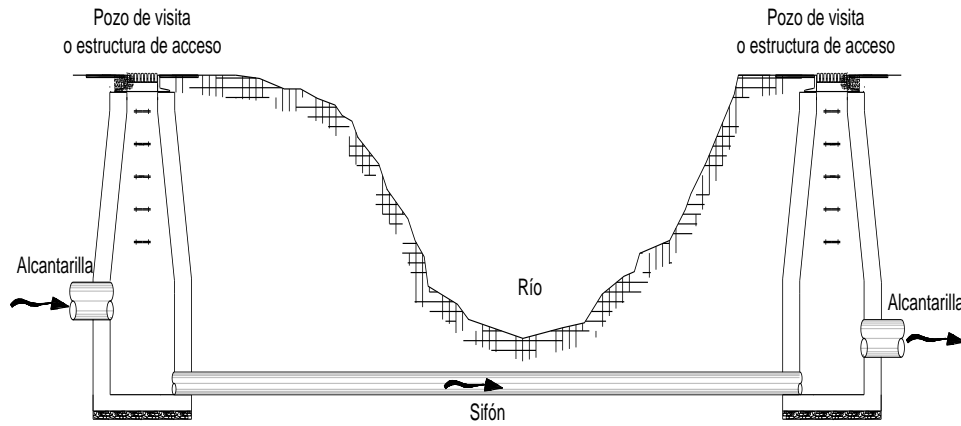


Fig. 3.7 Sifón invertido

Cruces elevados

En lugares donde la topografía es accidentada, y cuando el diseño y las necesidades del sistema de alcantarillado requieren atravesar dichos accidentes topográficos —como lo son las barrancas— de poca anchura, es posible la implementación de cruces elevados. Su factibilidad la dictará un correcto análisis de funcionamiento hidráulico y de ventajas económicas en su construcción y operación. Acorde a las condiciones topográficas, de clima y de funcionamiento y operación del cruce, se diseña la opción más conveniente en dimensionamiento, posición, tipo y número de apoyos, de claros, de material de la tubería y su recubrimiento requeridos para disminuir el daño por intemperismo.

3.3 Tratamiento de las aguas residuales

Propósito del tratamiento

Después de coleccionar el agua residual proveniente de una red de alcantarillado, esta debe ser tratada antes de su disposición final o de su reuso; dicho tratamiento se proporciona en instalaciones diseñadas para tal fin, denominadas comúnmente como *plantas de tratamiento de aguas residuales*.

El *propósito* del tratamiento es fundamentalmente la remoción de contaminantes que permitan que el agua tratada cumpla con objetivos específicos en beneficio del ser humano y su hábitat; como lo es la protección a la salud pública, la reducción en el uso de agua de abastecimiento mediante el reuso del agua tratada y evitar la contaminación de los ecosistemas donde ocurre la disposición final.

La transformación en la calidad del agua residual se hace mediante un proceso o mediante la combinación de varios de ellos; cada proceso remueve determinados contaminantes en un cierto porcentaje. Debe considerarse que la eficiencia de los procesos esta sujeto a múltiples factores, como la calidad del agua cruda a tratar, las condiciones ambientales, la variación del caudal y el correcto diseño de las instalaciones donde se efectuará el tratamiento; este subcapítulo no tiene como fin presentarse como un tratado de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales, más bien en describir los métodos de tratamiento que requiere el agua residual para cumplir los requisitos que la normatividad .

Los métodos de tratamiento en los que predomina la acción de fuerzas físicas, se conocen como operaciones físicas unitarias; los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue a través de la adición de productos químicos o mediante reacciones químicas, se conocen como procesos químicos unitarios; los procesos de tratamiento en los que la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica, se conocen como procesos biológicos unitarios.

El conjunto de métodos de tratamiento, está clasificado en los siguientes grupos de tratamiento: el pretratamiento, el tratamiento primario, el tratamiento secundario, el tratamiento avanzado o terciario y la desinfección. Existen también procesos de tratamiento a los lodos o fangos; se define como lodos en este contexto a todos los residuos sólidos, semisólidos y contaminantes separados del agua residual mediante los diversos procesos de tratamiento.

Pretratamiento

Consiste en la eliminación de los constituyentes cuya presencia en el agua residual a tratar pudiera perjudicar al funcionamiento de los diferentes procesos o al sistema de bombeo que llegase a utilizar la planta de tratamiento, cuando el agua no llega por gravedad.

En el pre-tratamiento se efectúan operaciones físicas unitarias, se mencionan continuación las más comunes:

Desbaste

Es la primera operación unitaria que tiene lugar en las plantas de tratamiento de aguas residuales, pues remueve sólidos gruesos, como troncos o ramas, fragmentos grandes de cualquier elemento (madera, plástico, metal); basura sólida en general. La operación se efectúa con rejas, rejillas —de limpieza manual o mecánica—, con tamices —que se utilizan también en procesos subsecuentes— y desmenuzadores.

Desarenación

Se utilizan desarenadores para separar —por sedimentación Tipo I— materiales más pesados que la materia orgánica, como lo es la grava, la arena y cenizas; pues dichos materiales dañan a las conducciones posteriores o pueden ocasionar obstrucciones.

En la sedimentación tipo I, las partículas decantan como unidades separadas —partículas *discretas*¹⁰— y el proceso puede analizarse mediante las leyes clásicas de Newton y Stokes.

Dichos desarenadores se ubican inmediatamente después de las rejas, evitando así la interferencia de los sólidos de mayor tamaño. Hay cuatro tipos de desarenadores, los de flujo horizontal, los desarenadores aerados, los tanques de sección cuadrada y los tipos vórtice.

Flotación

Se emplea la flotación como una operación unitaria para separar partículas sólidas o líquidas de una fase líquida. En el tratamiento de aguas residuales, la flotación se emplea principalmente para separar grasas y aceites de las aguas residuales y espesar los lodos del proceso de lodos activados.

Hay tres sistemas de flotación: por aire disuelto, donde el aire se disuelve con el agua residual a presión, continuando con su liberación hasta alcanzar la presión atmosférica; por

¹⁰ Una cantidad discreta es la que consta de unidades o partes separadas unas de otras. (RAE)

aireación, donde se introducen burbujas de aire directamente en el agua residual por medio de difusores sumergidos; y la flotación por vacío, donde se satura de aire al agua a presión atmosférica, seguido de la aplicación de vacío. Estos sistemas mejoran en la eficiencia con la aplicación de aditivos químicos.

Igualación

Esta operación amortigua las variaciones diarias de flujo, y la variación de las concentraciones de DBO, sólidos suspendidos y pH a lo largo del día. Los tanques de igualación se instalan después del pretratamiento, y es necesario mantener mezclados los sólidos en suspensión para conservar una condición aerobia. Es posible que se diseñen cárcamos de bombeo de agua residual como tanques de igualación.

Precloración

La aplicación de cloro en los primeros pasos de la planta, tiene la finalidad de controlar malos olores, la corrosión, prevenir la septicidad y la remoción de grasas.

Preaereación

Su uso no se ha extendido (López Ruiz 2003) pero se ha considerado que es beneficioso antes del tratamiento primario, sus objetivos son el control de olores, separación de grasas, prevención de septicidad y mantenimiento de condiciones aerobias en el tanque de igualación, entre otros.

Tratamiento Primario

El tratamiento primario es utilizado para remover por gravedad sólidos sedimentables previamente a otros tratamientos, mediante una sedimentación tipo II.

La sedimentación consiste en la separación —por medio de la gravedad— de las partículas suspendidas cuyo *peso específico*¹¹ es mayor que el del agua.

La sedimentación tipo II es una sedimentación de partículas flocculantes en una suspensión diluida. En soluciones relativamente diluidas, las partículas no se comportan como

¹¹ De acuerdo con la RAE (2007), *peso específico* es la fuerza con que la tierra atrae a un cuerpo por unidad de volumen.

partículas discretas sino que tienden a agregarse unas a otras durante el proceso de sedimentación, es decir, flocculan, por lo cual sedimentan a mayor velocidad y aumentando de tamaño; este proceso de floculación no es posible de modelarse matemáticamente, por lo que el diseño de los tanques sedimentadores se determina mediante ensayos y pruebas de laboratorio.

Los tanques de sedimentación primaria pueden proporcionar el principal grado de tratamiento del agua residual, o se pueden emplear como paso previo al tratamiento posterior. Pueden ser tanques rectangulares, circulares y contar con dispositivos mecánicos; en una planta de tratamiento es recomendable que por lo menos existan dos tanques para no interrumpir el tratamiento en caso de que alguno este sujeto a limpieza o reparación, las limitaciones de espacio son un factor que influye en el número recomendado de tanques.

Tanques rectangulares de sedimentación primaria

En los tanques rectangulares el influente es distribuido a la entrada de la unidad por medio de baffles verticales para lograr una mejor distribución a lo ancho de la unidad que permita un flujo horizontal. Se incorporan sistemas de rastras —también llamadas rascadores— sujetadas por cadenas guiadas por ruedas dentadas, que recolectan a los sólidos que sedimentan. Las partículas flotantes en el tanque, pueden ser conducidas con las rastras o manualmente en la superficie hacia un colector de natas o espumas, el lodo colectado por las rastras se deposita en las tolvas de recolección de lodos.

Los canales de entrada del agua a tratar se deben situar transversalmente a los tanques en las zonas de entrada y de forma similar, los canales de recogida del efluente en la zona de salida.

Los sedimentadores rectangulares presentan ventajas en el aprovechamiento del espacio disponible para una planta de tratamiento respecto a los de geometría circular.

Tanques circulares de sedimentación primaria

En este tipo de tanques, el sistema de flujo es radial, es decir, del centro a la periferia o viceversa; esto se logra introduciendo por el centro o por la periferia del tanque el agua residual a tratar y aunque ambas formas han presentado resultados similares, el más comúnmente utilizado es la introducción del agua por el centro.

En este sistema, el agua cruda entra al tanque mediante una tubería central hasta pasar por una campana deflectora circular diseñada para distribuir el flujo de manera uniforme en todas direcciones. Hay un puente que gira lentamente y posee dos o cuatro brazos con rascadores en el fondo; pero también los tiene superficiales para coleccionar natas y espumas. En los tanques con un diámetro menor a 9 m de diámetro, el puente con su equipo de extracción esta soportado por medio de vigas en las paredes laterales; los tanques de diámetro mayor a los 10.5 m utilizan un pilar central que soporta al puente. El agua tratada se recolecta en vertedores perimetrales y después es canalizada a la tubería de salida del efluente. La plantilla del tanque tiene una pendiente para que pueda arrastrarse el lodo hacia una zona central del tanque y este pueda ser extraído mediante bombeo.

Tratamiento secundario

El tratamiento secundario consiste en una serie de procesos biológicos o químicos a los que son sometidos los efluentes del tratamiento primario, pues estos contienen materia orgánica biodegradable¹² en forma de sólidos suspendidos finos, sedimentables, coloides y solubles. Este nivel de tratamiento agrupa en sí procesos unitarios capaces de eliminar los sólidos que aún contienen los efluentes primarios y los hay fisicoquímicos y biológicos. En general, son más costosos los procesos fisicoquímicos que los biológicos, y han sido adaptados para aguas residuales industriales de características agresivas a los procesos biológicos, como un tratamiento previo al secundario y otras veces, como un tratamiento llamado primario avanzado. En este documento se muestran los procesos biológicos más comunes en el tratamiento secundario.

¹² La RAE (2007) define biodegradable como « dicho de un compuesto químico: que puede ser degradado por acción biológica.»

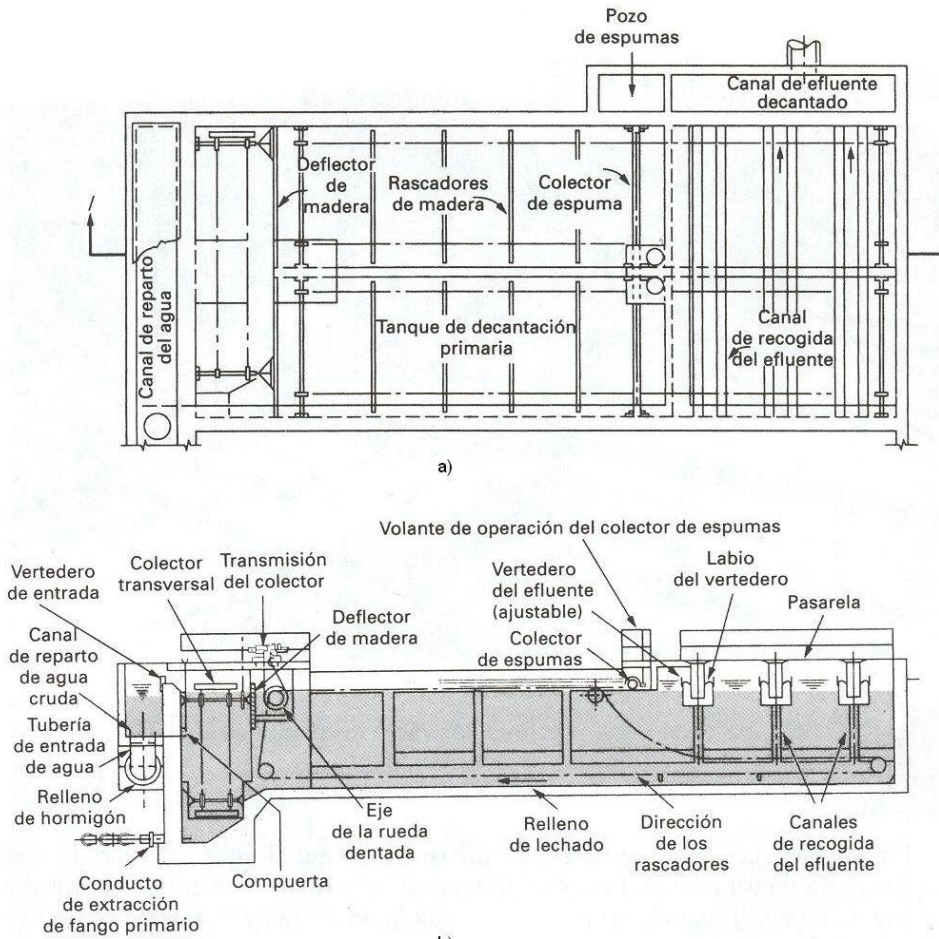


Fig 3.8 Tanque rectangular de sedimentación primaria a) planta b) sección

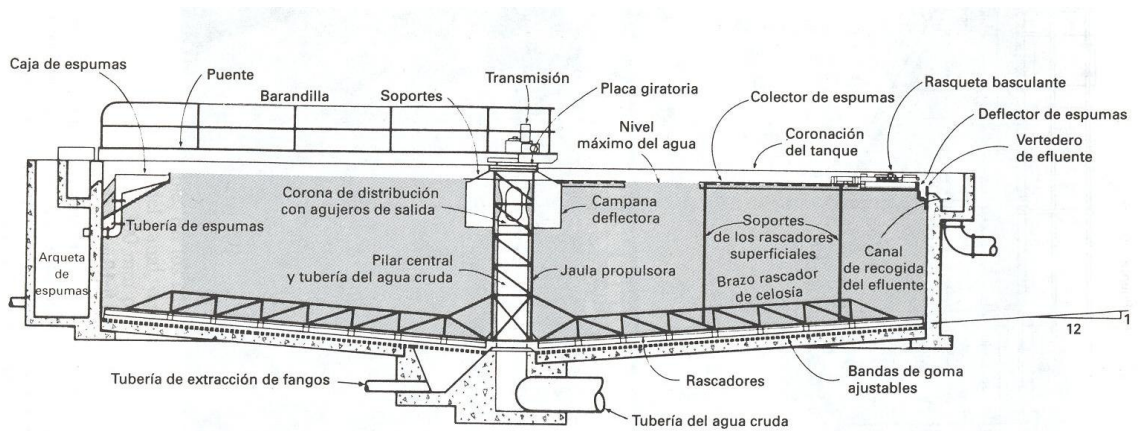


Fig 3.9 Tanque circular de sedimentación primaria de alimentación central

Fuente de las figuras 3.8 y 3.9: Metcalf&Eddy (1995)

Proceso de lodos activados

En este proceso, el tratamiento de las aguas residuales se realiza con microorganismos en suspensión —bacterias—, quienes son responsables de la descomposición de la materia orgánica. Tanto en su forma convencional como en alguna de sus muchas variantes, este proceso ha tenido un uso muy amplio; se utiliza tanto para el tratamiento secundario como para tratamiento completo de las aguas sin sedimentación primaria.

El nombre de este proceso proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia.

En los desechos líquidos se encuentra el cultivo de microorganismos que son en su mayoría bacterias en suspensión, en un tanque aireador —necesario para mantener un ambiente aerobio— denominado reactor; comúnmente se suelen utilizar reactores de flujo pistón o de mezcla completa, aunque esto depende de múltiples factores como las necesidades de transferencia de oxígeno al agua residual, la naturaleza de esta, las condiciones ambientales donde ocurrirá el proceso y el costo del mismo. Al contenido del reactor se le conoce como licor mezclado. Es en el reactor donde las bacterias metabolizan y flocculan biológicamente los compuestos orgánicos; al cabo de un periodo determinado de tiempo —denominado tiempo de retención—, el licor mezclado es conducido a un tanque de sedimentación, donde se lleva a

cabo una separación de microorganismos en forma de flóculos, que salen por la parte superior del tanque. Una parte de las células sedimentadas se recircula para mantener en el reactor la concentración deseada de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado, es decir, microorganismos en el reactor; otra parte es desechada como lodo, purgándose del sistema. Esquemáticamente se muestra en la figura 3.10.

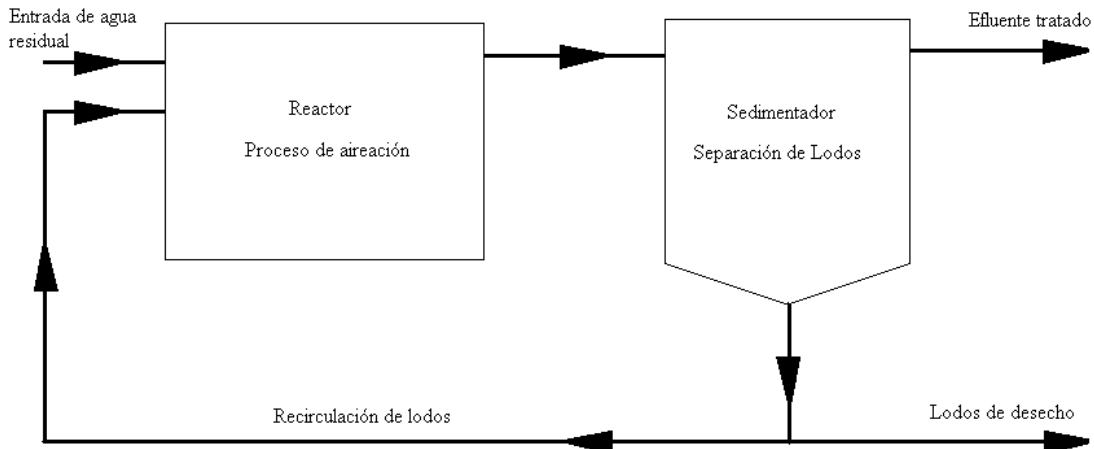


Fig.3.10 Esquemática del proceso de lodos activados convencional

Este proceso cuenta con algunas modificaciones, como son la aireación graduada, la aireación escalonada, la aireación modificada, la aireación prolongada, entre otras; enunciar de todas ellas en detalle se considera fuera de los alcances de esta tesis

Filtros percoladores

También llamados filtros biológicos, filtros rociadores o biofiltros, constituyen un sistema de medio fijo formado por un lecho de medio filtrante sobre el que se distribuye constantemente agua residual. Se provee una superficie en la cual hay una población de microorganismos — denominada *biopelícula*— adherida a ella y expuesta al agua residual y al aire para la degradación de la materia orgánica. El medio filtrante puede estar formado por piedras o medios sintéticos; los filtros de piedra pueden ser circulares y los de material plástico pueden tener diversas formas: circulares o cuadrados.

Durante el proceso, el agua residual es alimentada en la parte superior del filtro por medio de brazos giratorios provistos de difusores para la distribución uniforme en el medio

filtrante. La materia orgánica contenida en el agua residual rociada es adsorbida¹³ en la biopelícula en cuyas capas externas —0.1 a 0.2 mm— se degrada bajo la acción de los microorganismos aerobios. Cuando los microorganismos crecen, aumenta el espesor de la biopelícula, y el oxígeno se consume antes de que pueda penetrar en todo su espesor, creándose así un ambiente anaerobio en la proximidad del medio filtrante. Cuando la biopelícula pierde su capacidad de adherirse a la superficie del medio, es arrastrada por el agua iniciándose el crecimiento de una nueva capa biológica; este desprendimiento y crecimiento de una nueva biopelícula ocurre de manera periódica y continua. Los filtros incluyen un sistema de drenaje inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos desprendidos del medio filtrante. Cabe aclarar que la parte inferior del filtro no es cerrada permitiendo así la circulación de aire.

Es necesario conducir el efluente del filtro biológico a un tanque sedimentador secundario para colectar los sólidos biológicos desprendidos. Es común reciclar una parte del líquido recogido (como se muestra en la figura 3.11) o del efluente del tanque sedimentador secundario para diluir la concentración de agua residual y mantener la humedad de la película biológica.

Los filtros biológicos se clasifican en función de la carga hidráulica —volumen total de líquido por unidad de área del filtro y por unidad de tiempo ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$)— y la carga orgánica —kilogramos de DBO por día por unidad de volumen del medio filtrante ($\text{kg}/\text{m}^3/\text{día}$)—. Hay de baja, media, alta y muy alta tasa, los dos primeros con filtros de roca y los dos últimos con filtros sintéticos, para cargas hidráulicas más grandes. No hay que confundir el término filtro con la operación de filtración física a través de la porosidad del medio, pues en realidad el proceso se realiza por la difusión y degradación de la materia orgánica por los microorganismos.

Discos biológicos

¹³ «El proceso de adsorción consiste, en términos generales, en la captación de sustancias solubles presentes en la interfase de una solución. Esta interfase puede hallarse entre un líquido y un gas, un sólido, o entre dos líquidos diferentes.» (Metcalf & Eddy 1996:358)

Este proceso consiste en una serie de discos de polietileno situados sobre un eje o flecha horizontal y que se encuentran a una distancia muy corta entre sí. Los discos están parcialmente sumergidos en el agua residual girando lentamente, de 1 a 2 rpm.

Los microorganismos presentes en el agua residual se adhieren a las superficies de los discos, hasta formar una película biológica que se va acumulando y alimentando de la materia orgánica presente en el agua residual y que está en contacto con la atmósfera para la adsorción de oxígeno. La rotación de los discos mantiene el proceso descrito en condiciones aerobias, pero a su vez, funciona como mecanismo de desprendimiento de exceso de sólidos en la biopelícula. Dichos sólidos, junto con el agua residual tratada, se transportan —de manera similar a los biofiltros— a un tanque sedimentador secundario. (Figura 3.12)

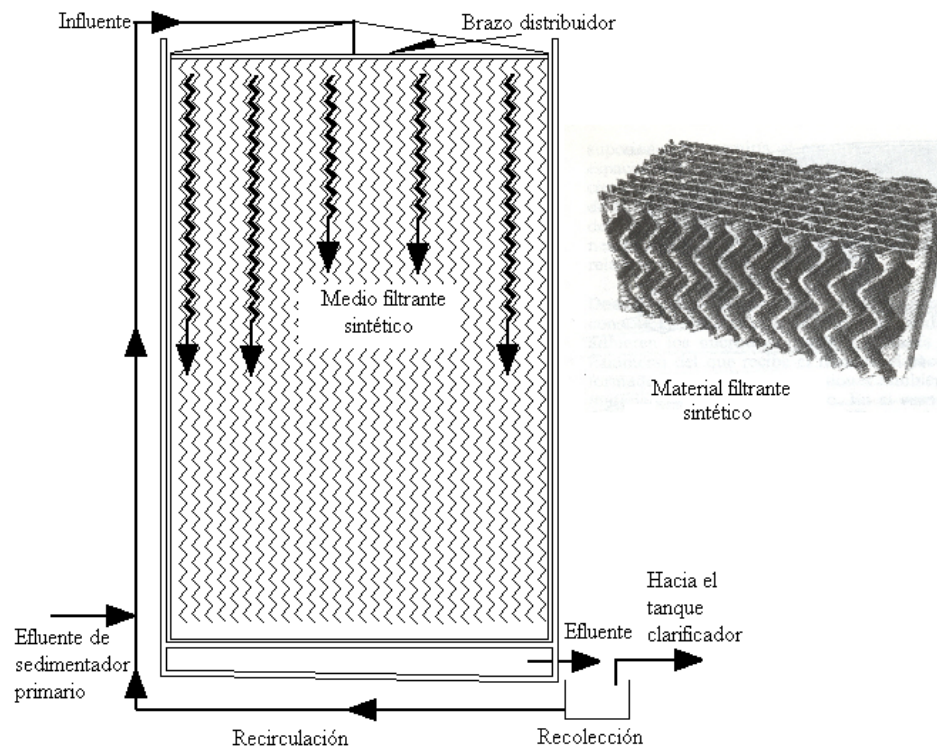


Fig 3.11 Esquematación del proceso de filtros percoladores

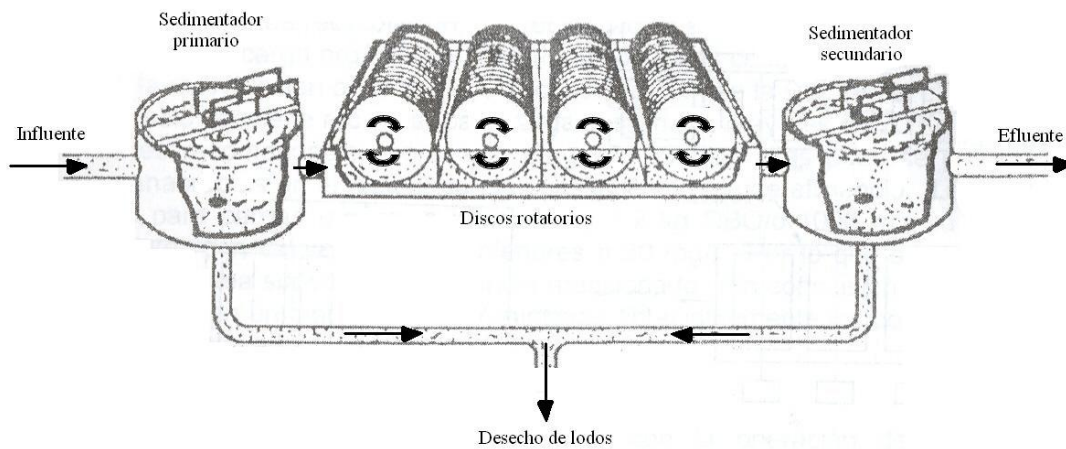


Fig
3.12

Esquemmatización del proceso de discos biológicos

Fuente de las figuras 3.11 y 3.12: Metcalf & Eddy (1995)

Lagunas aireadas

Una laguna aireada es un depósito en el que el agua residual se trata en la modalidad de flujo continuo cuya principal función es la conversión de la materia orgánica, se suele aportar oxígeno con aireadores superficiales o sistemas de difusión de aire para mantener condiciones aerobias. El efluente de una laguna aireada contiene aproximadamente un tercio de la DBO del afluente en forma de células, que deberán decantarse en un tanque de sedimentación; si existiese recirculación a la laguna, el proceso es muy similar al de lodos activados.

Sedimentación secundaria

En este proceso ocurre la sedimentación tipo III y tipo IV. La tipo III es donde las partículas de concentración intermedia que se encuentran muy cercanas unas de otras, provocan que las fuerzas interpartículas interfieran en la sedimentación de las partículas vecinas, quedándose en posición fija una de otra sedimentando a velocidad constante, en masa. La tipo IV corresponde a partículas que están a tan alta concentración que se tocan unas a otras, y la sedimentación puede ocurrir solo por compresión de la masa. Los tanques de sedimentación secundaria — también denominados como *tanques clarificadores*— son similares en forma y diseño a los tanques sedimentadores primarios, pero teniendo sus particularidades específicas.

Desinfección del agua residual

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de microorganismos que causan enfermedades, su diferencia con la esterilización es que en esta ocurre la destrucción de la totalidad de los organismos. Es importante resaltar que los desinfectantes deben ser seguros en su aplicación y manejo, y que su concentración en las aguas pueda ser cuantificable y medible. La desinfección se puede dividir en natural y artificial. Los agentes artificiales más comunes son los químicos, como el yodo (I), cloro (Cl), bromo (Br), ozono (O₃) o peróxido de hidrógeno (H₂O₂); los físicos, como el calor y la luz; los mecánicos, como la microfiltración y la radiación.

El cloro es el desinfectante universalmente utilizado, siendo sus compuestos más utilizados en plantas de tratamiento el cloro gas (Cl₂), el hipoclorito de sodio (NaOCl), el hipoclorito de calcio Ca(OCl)₂ y el Peróxido de cloro (ClO₂).

Cuando el cloro gas entra en contacto con el agua, ocurren dos reacciones; la hidrólisis, donde se genera el ácido hipocloroso (HClO HOCl), y la ionización de este generando el ion hipoclorito ClO⁻OCl⁻. El ácido hipocloroso y el ión hipoclorito en el agua, es lo que constituye el cloro libre disponible o cloro libre residual, la distribución de estas dos especies es muy importante por su eficiencia como bactericida. La dosis de cloro a aplicar en la desinfección dependerá del origen de las aguas a tratar

La mezcla efectiva de solución de cloro con el agua residual, el tiempo de contacto y el cloro residual son los principales factores involucrados para acabar con las bacterias patógenas. Dicha mezcla se efectúa en tanques de cloración rectangulares. Cuando termina su labor de desinfección y previo a la descarga a los cuerpos receptores, es necesaria la remoción del cloro residual. Los *decoloradores* más usados son el anhídrido sulfuroso (SO₂), el carbón activado, sulfito de sodio (Na₂SO₃) y metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅).

Vertido de efluentes

Una vez tratadas, las aguas residuales se pueden reutilizar o reintroducir en el ciclo ecológico por su evacuación al medio ambiente. Los más comunes son el vertido y dilución en aguas del medio ambiente —ríos, estuarios, lagos, embalses y el mar— o aplicación al terreno, en la que el agua residual percola en el terreno y recarga los acuíferos subyacentes. Las aguas tratadas a

disponer deben cumplir en la República Mexicana con los parámetros establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001- SEMARNAT -1996 para su vertido en aguas y bienes nacionales, NOM-002- SEMARNAT -1996, cuando se reincorpora en sistemas de alcantarillado urbano y NOM-003- SEMARNAT -1997, cuando se disponga reusar el agua tratada para usos públicos¹⁴.

3.4 Tecnologías alternas a los sistemas de alcantarillado sanitario

Fosas sépticas

En zonas no conectadas a una red de alcantarillado, las aguas residuales de residencias individuales y otras instalaciones comunitarias se suelen tratar mediante sistemas de tratamiento y evacuación ubicados en las proximidades de las fuentes de generación. El más comúnmente empleado es el de la fosa séptica. En este sistema, debe haber un conjunto de componentes para un efectivo tratamiento, que se describen enseguida.

Trampa de grasa: es un pequeño tanque que puede recibir aguas con formación de residuos grasos y jabones y pueden ser construidos con ladrillo o concreto. En ellos ocurre una separación física, pues las partículas de grasa son más ligeras que la del agua, lo que provoca que floten en la superficie, donde pueden ser recolectadas.

Tanque séptico: es el elemento diseñado para recibir las descargas de aguas residuales domiciliarias que al proporcionar un tiempo de permanencia adecuado —tiempo de retención— es capaz de separar parcialmente los sólidos suspendidos, digerir —mediante procesos biológicos anaerobios— una fracción de la materia orgánica presente y retener temporalmente los lodos, natas y espumas generados. Su origen se remonta a 1860 gracias investigaciones desarrolladas por Jean-Louis Mouras en Vesoul, Francia.

En la actualidad existen tanques sépticos prefabricados de diversos materiales como el concreto, el fibrocemento, resina reforzada con fibra de vidrio y polietileno de alta densidad sujetos a la Norma Oficial Mexicana NOM-006-CNA-1997 «Fosas sépticas prefabricadas. Especificaciones y métodos de prueba» donde se establecen a detalle —como su nombre lo indica— las especificaciones que deben cumplir, los métodos de prueba a los que son sometidos e información sobre su instalación, mantenimiento y el tratamiento del efluente del tanque séptico, así como una serie de recomendaciones para las instalaciones complementarias.

¹⁴ Véase Anexo B

En realidad, el tanque séptico funciona como un digestor anaerobio¹⁵, aunque no es en su totalidad, pues en su interior se pueden presentar zonas anóxicas. Para distribuir el efluente del tanque séptico de manera eficiente al campo de oxidación, es necesaria la instalación de una caja de distribución previamente

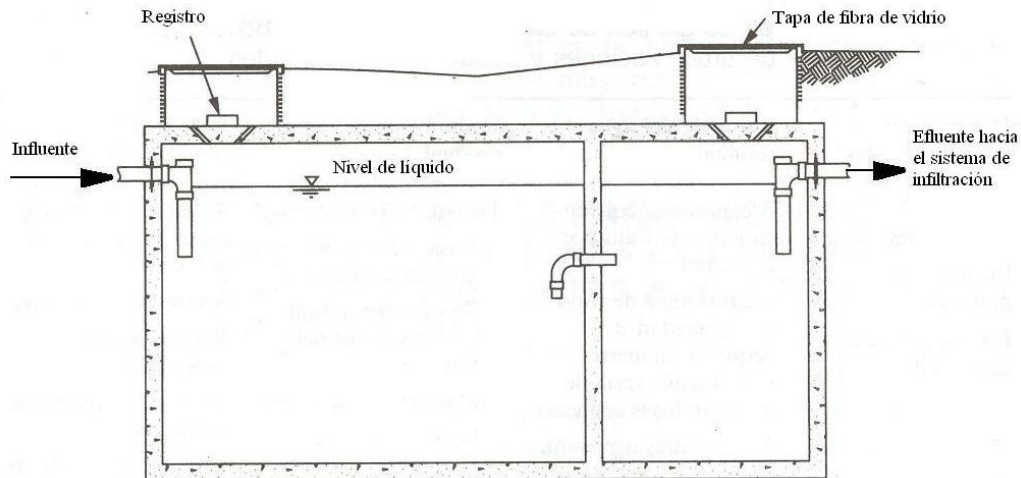


Fig. 3.13 Tanque séptico convencional de dos compartimentos (sección)

Fuente: Metcalf&Eddy

Campo de oxidación: consiste en una serie de zanjas estrechas, con ancho entre 0.25 m y 0.45 m (0.50 m según la norma mencionada anteriormente) una profundidad variable entre 0.5 y 1.0 m —debiendo procurar una distancia mínima de 1.20 m entre el fondo de la zanja y el nivel freático— y rellenas normalmente de grava con una granulometría variable entre los 20 y 50 mm. La distancia entre los ejes de las zanjas deberá estar ser entre 1.50 y 2.0 m y su pendiente del 25%. El efluente del tanque séptico llega por medio de una tubería perforada de 100 mm de diámetro. El medio poroso —grava— mantiene la estructura de la zanja, proporciona un tratamiento parcial al efluente y lo distribuye a las áreas de infiltración del terreno. El líquido se infiltra a las superficies laterales de las zanjas hacia el terreno (Figura 3.14). En este proceso hay una serie de mecanismos físicos, biológicos y químicos que dan un tratamiento final al efluente. La factibilidad de los campos de oxidación está en función de pruebas de infiltración del suelo descritas en la norma para fosas sépticas mencionada hasta un

¹⁵ Un digestor anaerobio convencional consiste en un tanque cerrado sin agitación ni calentamiento, en donde el desecho a tratar se estratifica en zonas definidas (López Ruiz 2003:61), y donde los procesos biológicos ocurren en la ausencia de oxígeno.

valor admisible máximo de 25 min/cm, es decir, 25 minutos que tarda el agua en descender infiltrándose un centímetro durante la prueba. Cuando la anchura de las zanjas de infiltración es superior a 0.90 - 1.20 m, este tipo de unidades suele recibir el nombre de *lechos de infiltración*.

Pozo de absorción

Es un sistema vertical de infiltración al subsuelo de las aguas provenientes del tanque séptico, como alternativa cuando no hay disponibilidad de terreno para campos de infiltración. Para usar los pozos de absorción, es preciso disponer de grandes profundidades de suelo y estar a gran distancia de las aguas subterráneas.

Las características mínimas que describe la norma es de un diámetro interior mínimo de 1.0 m, paredes de mampostería de tabique sin juntear en el sentido vertical con una distancia de 0.05 m, relleno de roca porosa o tezontle desde el nivel de desplante hasta 0.20 m antes de la conexión del influente y contar con una tapa o registro de inspección de concreto a nivel del terreno (figura 3.15). En muchas zonas del país no es recomendable su uso pues existe un riesgo de potencial contaminación de las aguas subterráneas.

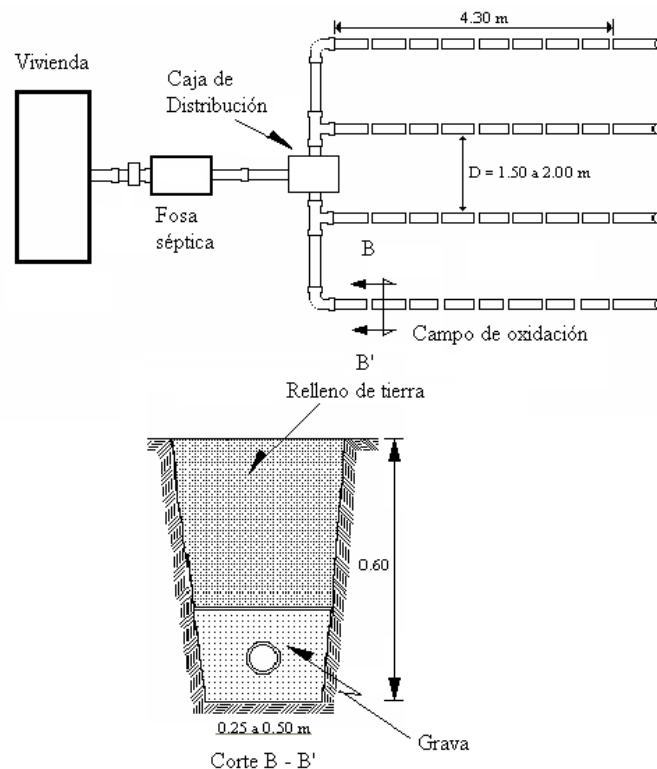


Fig 3.14 Campo de absorción en el sistema de fosa séptica

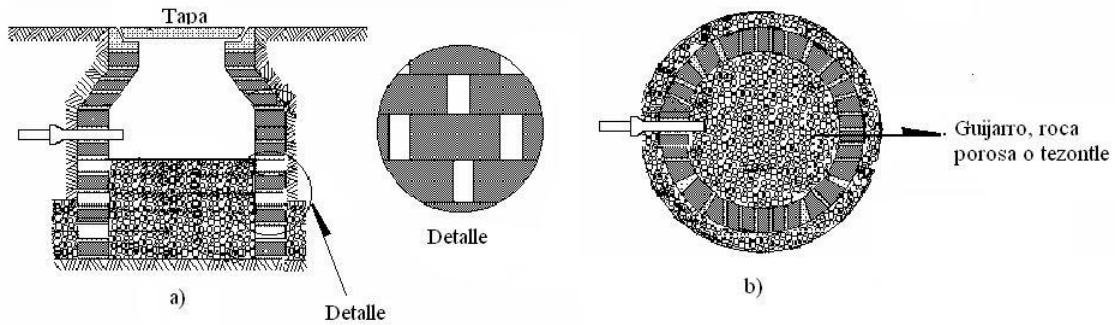


Fig 3.15 Pozo de absorción a) sección b) planta

Fuente: NOM-006 CNA 1997

En lugares en los que ya no es posible emplear sistemas de absorción sobre el terreno, es posible utilizar las fosas sépticas para separar los sólidos, y recolectar los efluentes para su posterior tratamiento. El sistema de fosa séptica se ha empleado para dar servicio a residencias individuales y otras instalaciones comunitarias, también es posible la utilización de fosas sépticas de grandes dimensiones y subdividida en compartimientos, generalmente tres; o utilizar, tanques *Imhoff*.

El tanque *Imhoff* consiste en un tanque de dos pisos, en el que la sedimentación se produce en el compartimiento superior y la digestión de los sólidos en el compartimiento inferior, asimismo posee un sistema de ventilación para los gases generados. Dicho sistema se muestra en la figura 3.16.

Baños secos

El sistema de saneamiento mencionado en este capítulo se basa en el agua como vehículo de transporte de desechos, con un serio inconveniente: el alto consumo de agua potable. Como alternativa al desalojo de excretas humanas, se han desarrollado los llamados baños secos, y que hay que diferenciarlos claramente de las letrinas comunes, donde las excretas se depositan directamente en un hoyo en el suelo.

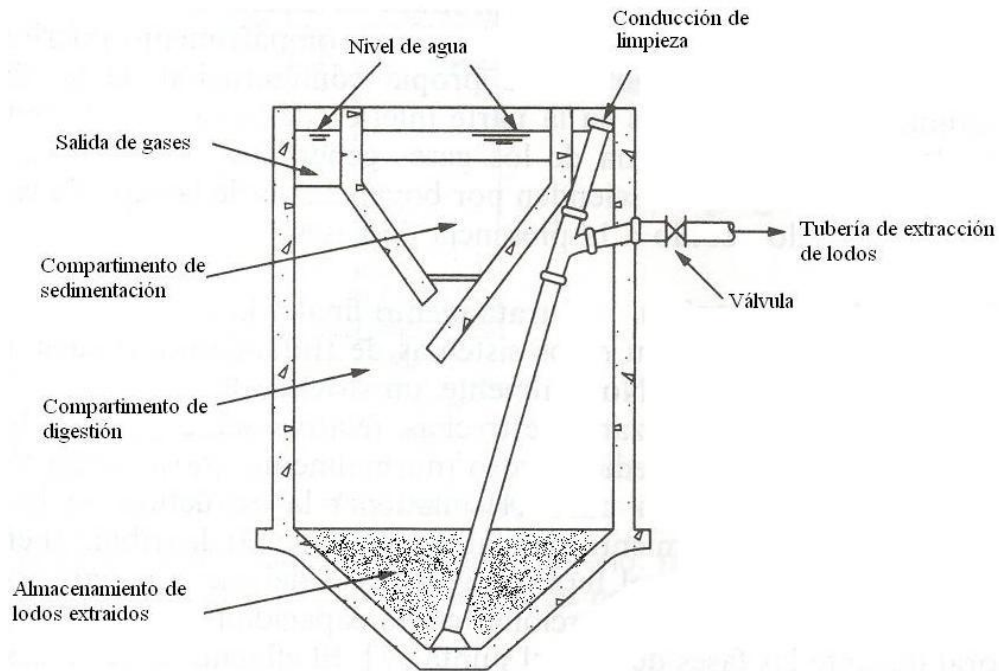


Fig.3.16 Tanque Imhoff convencional para pequeñas comunidades (sección)
Fuente: López Ruiz (2003)

Los baños secos o *dry toilets* son sistemas que tratan el detritus¹⁶ humano cuando fermentan y los deshidratan para producir un producto final utilizable y valioso para el suelo; sus tres características fundamentales consisten en que funcionan sin agua, no están conectadas a red alguna de alcantarillado y no contaminan el suelo o mantos acuíferos. Existen variedades en diseño, modelo y marca, los hay prefabricados y construidos *in situ*.

En el baño seco la materia orgánica generada fermenta en un contenedor y el producto final obtenido es utilizable para abono. Para los baños prefabricados, hay contenedores con detector de temperatura, control electrónico y de tipo carrusel, donde al llenarse un contenedor, se utiliza otro vacío. En este último modelo, cuando todos los contenedores se hayan llenado, es muy probable que el contenido del primero ya pueda ser utilizado como abono, pues es necesario un año para compostar la materia orgánica a partir de cuando ya no se añaden más excretas. La orina debe recolectarse en un recipiente por separado, la cual posteriormente podrá ser usada como fertilizante. Hay asientos especiales que permiten dicha separación.

¹⁶ Detritus: «resultado de la descomposición de una masa sólida en partículas» (RAE 2007)

Existen también diseños que pueden construirse *in situ*, con materiales de construcción comunes como ladrillo, mortero, madera y tubería de polipropileno. La fermentación de la materia orgánica ocurre mediante procesos aerobios y necesita ventilación mediante una chimenea totalmente horizontal, con una malla al final para evitar la introducción de insectos.

Después de cada uso del baño seco, es necesario agregar un material que absorba la humedad de la materia orgánica, como lo puede ser el aserrín, paja fina, cenizas, hojas secas o cal, que también contribuye a evitar malos olores. Es así como es posible la obtención de composta de buena calidad y se evita la contaminación del suelo y aguas en zonas sin alcantarillado.

El desarrollo de estas tecnologías debe ser objeto de investigación que permitan su utilización como una alternativa viable a los tradicionales sistemas de alcantarillado sanitario tratados brevemente en este capítulo; la ingeniería civil no debe ser indiferente a dicho desarrollo, participando activamente en propuestas mediante la aplicación de conocimientos propios de la disciplina, así como la participación trans e interdisciplinaria. La difusión y conocimiento de estas tecnologías debe ser traducido en su utilización, el cual requiere por parte de la población una consciencia del deterioro gradual de su entorno.



Fig 3.17 Baño seco prefabricado



Fig 3.18 Compartimentos tipo carrusel

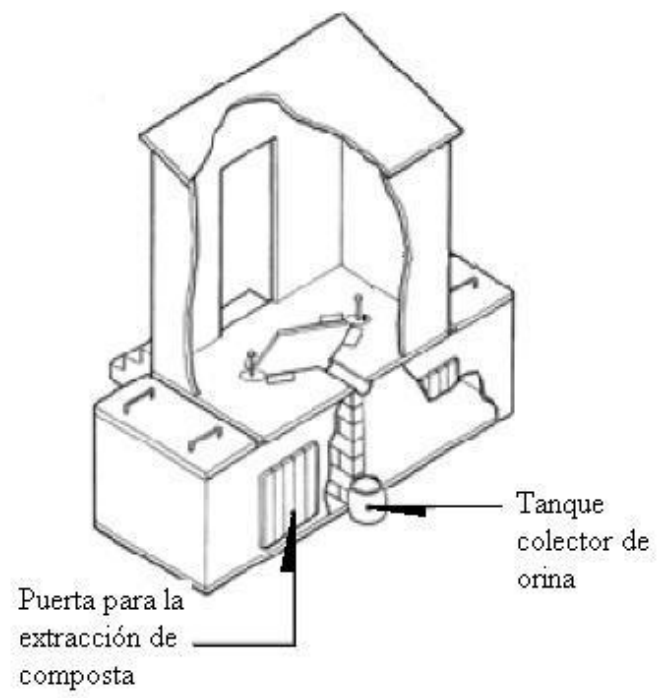


Fig 3.19 Baño seco construido in situ con dos compartimentos y separador de orina

Los sistemas de alcantarillado deben ser adecuadamente proyectados y construidos, así como eficientemente operados, para cumplir con sus funciones: recolección, transporte, tratamiento y vertido de las aguas residuales. La ineficiencia en alguna de ellas conduce a la falla de todo el sistema, con el consecuente impacto negativo al entorno, traducido en contaminación y destrucción del ambiente.

En este capítulo se abordó de manera introductoria a los sistemas de alcantarillado, con la pretensión de proporcionar un panorama general sobre esta tecnología, el conocimiento básico de su funcionamiento y su importancia dentro de la ciudad indudablemente debe ser del dominio de la población.