

ING. MARTINEZ

I- Potabilización del Agua

EL AGUA: El agua, dada su alta capacidad disolvente, contiene compuestos disueltos y suspendidos que hacen que no se pueda hablar de un agua químicamente pura. En su recorrido en el ciclo hidrológico es susceptible de contaminación tanto natural como artificial. La contaminación natural se presenta por arrastre de material del aire en el momento de lluvias, por arrastre de material orgánico e inorgánico por escurrimiento superficial en el suelo y por infiltración. La contaminación artificial producida por el desarrollo de las actividades del hombre se presenta por descargas de aguas residuales domésticas e industriales, por arrastre de residuos sólidos y por arrastre de productos como fertilizantes utilizados para mejorar las condiciones de los cultivos de productos agrícolas.

CALIDAD DEL AGUA: La calidad del agua es un concepto que hace referencia a las características físicas, químicas y microbiológicas de las fuentes de agua naturales; estas características influyen en sus condiciones de tal manera que puedan generar bienestar para las comunidades y la vida animal y vegetal. La calidad de agua se determina comparando las características mencionadas de una muestra de agua con normas o estándares establecidos, por ejemplo, las guías para la calidad de agua de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y en nuestro país la Empresa Reguladora de Servicios Sanitarios - ERSSAN a través de la LEY GENERAL DEL MARCO REGULATORIO Y TARIFARIO DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO (Ley N° 1.614/2000), Reglamento de Calidad en la Prestación del Servicio, ANEXO III: LÍMITES DE CALIDAD DE AGUA POTABLE – FRECUENCIA DE MUESTREOS MÍNIMOS. Estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos (Naciones Unidas).

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

- **Características físicas:** Las características físicas son las que se pueden definir por los sentidos y tienen implicaciones directamente sobre las condiciones estéticas del agua. Las principales características físicas son:
 - **TURBIEDAD:** La turbiedad es la capacidad que tiene el material suspendido de obstaculizar el paso de la luz. La turbiedad que trae el agua es debida a la erosión natural de las cuencas y por la contaminación causada por el hombre. Su importancia radica en cuestiones estéticas y su presencia en el agua es rechazada por los usuarios. La medición de la turbiedad se realiza en equipos denominados turbidímetros.
 - **COLOR:** Esta característica es ocasionada por partículas muy pequeñas como sustancias disueltas y coloides. El color en las aguas se produce por descomposición de material vegetal mineral y vegetal que se encuentran en el subsuelo. El color se mide mediante equipos denominados colorímetros.
 - **OLOR Y SABOR:** El olor y el sabor en el agua son generalmente producidos por descomposición de materia orgánica, presencia de algas y descargas de aguas residuales industriales. No existen mecanismos para valorar el olor y sabor, aunque este parámetro se estipula en las normas internacionales de calidad de agua indicando si es aceptable o no aceptable.
 - **TEMPERATURA:** Esta característica es muy importante en los procesos químicos, físico y biológicos que se utilizan para el tratamiento de agua potable. Un agua fresca es considerada cuando tiene una temperatura de 5°C por debajo de la temperatura ambiente del lugar.
- **Características químicas:** Aunque en términos de calidad de agua existen muchas características químicas estandarizadas, se presentan en este documento las que se consideran útiles para el tema de potabilización de aguas:
 - **PH:** Esta característica es un indicador de la intensidad de acidez o alcalinidad de una muestra de agua. Para el pH se tiene una escala de valores en la cual, si el agua es neutra, el pH tiene un valor de 7, aguas ácidas tienen valores menores a 7, aguas muy ácidas, valores menores de 5, aguas alcalinas o básicas mayores de 7 y aguas muy alcalinas o fuertemente alcalinas, valores superiores a 9. La

importancia en el tratamiento de agua potable radica en que incide en los procesos de potabilización, especialmente en la desinfección con cloro. Los procesos de tipo biológico como el de los filtros lentos en arena se llevan adecuadamente con rangos de pH entre 6 y 8.

- **ALCALINIDAD:** La alcalinidad en el agua se mide como la capacidad de neutralizar ácidos. Este parámetro es de suma importancia para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de agua potable. Para los sistemas de aductoras es muy importante su control, puesto que puede producir efectos nocivos en tuberías por incrustaciones.
- **DUREZA:** La dureza en el agua se forma por la presencia de altos contenidos de minerales, especialmente calcio y magnesio. Una de las particularidades de esta característica es que aguas duras no permiten que se disuelva el jabón, o sea que no se forma espuma. Aguas duras son características de aguas subterráneas.
- **HIERRO Y MANGANESO:** El hierro y el manganeso generalmente se encuentran juntos y se presentan en altas concentraciones en las aguas subterráneas. Su importancia en el tratamiento de agua radica en que, aunque no afectan a la salud de los consumidores, producen manchas en la ropa y en aparatos sanitarios.
- **Características microbiológicas:** Las aguas naturales contienen generalmente una serie de organismos, como peces, moluscos, plancton, virus, entre otros que tienen su hábitat en el agua, además contienen microorganismos, como bacterias, protozoos, que pueden llegar a las aguas por contaminación. Estos microorganismos pueden ser +patógenos o no patógenos. Los patógenos son los que producen enfermedades a los consumidores. Entre las enfermedades más comunes que se producen por aguas con microorganismos patógenos están: el cólera, la gastroenteritis, la disentería, la fiebre tifoidea y el parasitismo.

TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO : Una Planta de Tratamiento es un conjunto de infraestructura, equipos, elementos y personal que permiten mejorar las condiciones físicas, químicas y bacteriológicas de un agua cruda, para volverla potable o apta para el consumo humano siguiendo las normativas vigentes.

Existen varias tecnologías de tratamiento, la selección de la tecnología más apropiada depende de factores como la calidad de agua cruda, el nivel de los recursos humanos y tecnológicos con los que cuenta la población a ser abastecido, la capacidad de la planta y las normas de calidad vigente en el país. Para aguas superficiales se puede establecer básicamente dos tipos, la primera consiste en tecnologías con aplicación de productos químicos y la segunda consiste en tecnologías con métodos biológicos.

Tratamiento con productos químicos: Este tipo de tratamiento es para aguas superficiales y tiene básicamente los siguientes procesos: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.



En algunos casos dependiendo de la calidad del agua, se debe adicionar posteriormente al proceso de desinfección un proceso de estabilización, agregando generalmente cal, en caso de que luego de los procesos básicos se tenga un pH muy bajo de acuerdo con las normas de calidad.

Tratamiento biológico: El tratamiento sin químicos o tratamiento biológico se lleva a cabo en filtros de grava y arena, y se le ha denominado como pretratamiento en medio grueso y filtración lenta en arena; también se le ha denominado FIME (Filtración Múltiple en Etapas). Este tipo de tratamiento no requiere de adición de ningún producto químico, salvo el proceso de desinfección. Esta tecnología es muy usada en comunidades rurales y para caudales pequeños.



PROCESOS DE TRATAMIENTO

- **Coagulación:** La coagulación es un proceso que tiene dos fases; la primera tiene que ver con la adición de un producto químico denominado coagulante, y la segunda, corresponde a la dispersión del coagulante en la masa de agua, fase conocida como mezcla rápida. La coagulación juega un papel importante en la remoción de turbiedad, color, bacterias, virus y organismos patógenos.
- **Sedimentación:** El proceso de sedimentación consiste en la remoción de los flocs formados en la floculación; esta remoción se presenta por acción de la gravedad. Al producirse la remoción de partículas al fondo, el agua después de permanecer un tiempo adecuado sale, generalmente en la parte superior; se dice que el agua sale clarificada.
- **Filtración rápida:** Consiste en la separación de las partículas o flocs que, por su poco peso, no alcanzaron a removerse en el proceso de sedimentación. Se hace referencia a filtración rápida pues la velocidad de paso del agua por el medio filtrante es muy alta con respecto a la que se presenta en filtros lentos.
- **Filtración lenta:** La filtración lenta corresponde a plantas de potabilización sin químicos. El agua se hace pasar por diferentes tanques que contienen grava y arena y que, a medida que transcurre el tratamiento, van disminuyendo los tamaños de grava hasta finalmente llegar a partículas finas de arena.
- **Desinfección:** El proceso de desinfección es el proceso que asegura la remoción de patógenos que no se han logrado remover en los procesos de sedimentación y filtración. Por la acción de un compuesto bactericida, como el cloro, se puede lograr eliminar virus y bacterias, garantizando así el suministro de un agua potable.
- **AIREACION:** El proceso de aireación consiste en el suministro de oxígeno al agua para la remoción de gases que comunican olor y sabor al agua y para fomentar la precipitación o asentamiento de hierro y manganeso.
- **ADSORCION:** Este proceso se lleva a cabo para absorber partículas que comunican olor y sabor desagradable en el agua, también es utilizado para la remoción de tóxicos.

II- Tratamiento del agua:

SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PUBLICO DE AGUA: Se define como sistema de abastecimiento de agua al conjunto de obras civiles, equipamientos hidráulicos, electromecánicos y servicios destinados al abastecimiento de agua potable de una comunidad para el consumo doméstico, servicios públicos, consumo industrial y otros usos.

UNIDADES DEL SISTEMA: Un sistema de abastecimiento público de agua comprende diversas unidades a saber: Captación: Toma de agua cruda, Aducción de agua cruda, Aducción de agua tratada.

- Tratamiento: Planta de tratamiento.
- Reservorios: Reservorios enterrados o semienterrados, Reservorios apoyados o tanques apoyados, Reservorios elevados o tanques elevados
- Distribución: Red de distribución.
- Estación de bombeo: De agua cruda, De agua tratada

PARAMETROS DE DISEÑO

- **Dotación neta:** La dotación neta es la cantidad de agua potable requerida por un habitante para satisfacer sus necesidades básicas en un periodo de tiempo de un día, sin consideración de las pérdidas que puedan ocurrir en todo el sistema de abastecimiento.
- **Dotación bruta:** La dotación bruta es la dotación neta más las pérdidas que pueden presentarse en el sistema de abastecimiento y puede ser calculada con la siguiente expresión:

$$D_{bruta} = D_n / (1 - \% p / 100)$$

Donde: D_{bruta} : Dotación bruta (L/hab*día), D_{neta} : Dotación neta asignada (L/hab*día), %p: Pérdidas máximas admisibles (no debe superar) 25 %

- **Caudales de diseño :**

- Caudal Medio Diario: El caudal medio diario es el consumo promedio diario calculado para la población proyectada al final del periodo de diseño y se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{md} = P \cdot D_{bruta} / 86400$$

Donde: Q_{md} : Caudal medio diario (L/s), P: Población Proyectada al final del periodo de diseño, D_{bruta} : Dotación bruta(L/hab*día)

- Caudal Máximo Diario: El caudal máximo diario es el consumo máximo registrado en 24 horas durante un año cualquiera. Se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{MD} = Q_{md} \cdot K_1$$

Donde: Q_{MD} : Caudal Máximo Diario (L/s), Q_{md} : Caudal medio diario (L/s), K_1 : Coeficiente de consumo máximo diario (1,2 y 1,4) según el tamaño de la población, siendo mayor en poblaciones pequeñas.

- Caudal Máximo Horario: El caudal máximo Horario es el consumo máximo registrado durante una hora en un año cualquiera, obviando el caudal de incendios. Se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{MH} = Q_{md} \cdot K_2$$

Donde: Q_{MH} : Caudal Máximo Horario (L/s), Q_{md} : Caudal medio diario (L/s), K_2 : Coeficiente de consumo máximo horario (1,2 y 1,8) según el tamaño de la población, siendo mayor en poblaciones pequeñas.

- Caudales de Diseño: Las Plantas de Tratamiento de Agua se calcularán con los siguientes caudales, según la existencia o no, de tanque de almacenamiento.

Con Caudal Máximo Diario (Q_{MD}): Si existe tanque de almacenamiento.

Con Caudal Máximo Horario (Q_{MH}): Si no hay tanque de almacenamiento.

- **Periodo de diseño:** El periodo de diseño de las obras de abastecimiento de agua potable, incluyendo la planta de tratamiento se diseña para un tiempo máximo de 20 a 30 años, dependiendo de la población a ser abastecida.
- **Proyección de población:** Deben emplearse los métodos que mejor se ajusten al comportamiento de la población. No obstante, para periodos de diseño de 25 años, las diferencias entre varios métodos no serán significativos.

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

- **Pretratamiento:** Dependiendo de la calidad del agua cruda de la fuente de abastecimiento podrá ser necesario el uso de unidades preliminares, que consisten en rejas que realizan el proceso de devaste para el retiro de elementos como ramas, hojas, animales muertos y otros objetos indeseables.

Las Rejas conforme a su abertura pueden ser:

- Finas: de 1,5 a 3 cm.
- Medias: entre 3 a 5 cm.
- Gruesas: mayor a 5 cm.

Conforme a su posición espacial:

- Verticales: entre 75 y 85° de inclinación respecto a la horizontal.
- Inclinadas: entre 45 y 60° de inclinación respecto a la horizontal.

Según su forma de limpieza:

- De limpieza manual: en la que el operador debe retirar periódicamente los sólidos retenidos en la superficie de la reja con un rastrillo.
- De limpieza mecánica: cuentan con un rastrillo de limpieza que retira los sólidos retenidos y los depositan en una tolva en forma automática.

- Barreras Flotantes:** Las barreras flotantes son unidades dotadas de pantallas o baffles parcialmente sumergidos en la superficie del agua, cuya finalidad es retener el material sólido flotante, como hojas, camalotes, material sobrenadante, ramas y otros, usada especialmente en aducciones hechas en canales abiertos. Este sistema se utiliza en la toma de agua cruda de Essap en el Río Paraguay como barrera para impedir que los camalotes lleguen hasta la tubería de toma, especialmente en el de agua máxima y media. Además, es utilizada para retener los aceites y combustible sobrenadantes teniendo en cuenta la proximidad de los puertos que operan en la zona.

Tabla 9. Criterios de diseño para Trampas Flotantes

| Parametro | Rango o Valor |
|---|--|
| Tiempo de Retencion Hidraulica – TRH(min) | 3 para Q<2 lps 5 para Q>2 lps |
| Altura minima efectiva(m) | 0,5 para Q<2 lps 1,0 para Q>2 lps |
| Inmersion de la pantallas de retencion(m) | 0.15 a 0.30 Q<2 lps 0.30 a 0.45 Q>2 lps |
| Relacion Ancho : Largo : Alto | 1:2:1 |
| Borde libre a caudal maximo (m) | 0.3 |

- Desarenadores:** Los desarenadores son obras hidráulicas que sirven para separar (decantar) y remover (evacuar) después, el material sólido que lleva el agua de un canal. La misión de los desarenadores consiste en separar grava, arena y limo, desperdicios de alimentos relativamente inertes.

III- Cap. 6, 7, 8 ing. Sanitarias

FUENTES Y CAPTACION DEL AGUA:

Fuente Superficial: La captación de agua de superficie para el abastecimiento público o privado es un conjunto de estructuras y dispositivos, construidos junto a una fuente para la captación de agua destinada a un sistema de abastecimiento. Las obras de captación deben ser proyectadas e construidas de modo a:

- Funcionar ininterrumpidamente en cualquier época del año.
- Permitir la captación de agua para el sistema de abastecimiento en cantidad suficiente y con la mejor calidad.
- Cuando la fuente está en una cota inferior a la ciudad se deberá contar con una estación elevadora.
- Las aguas de estas fuentes deberán cumplir los requisitos mínimos exigidos tanto en el aspecto cuantitativo como cualitativo desde el punto físico, químico, biológico y bacteriológico.

Fuente Subterránea: El agua subterránea forma parte del ciclo hidrológico, escurriendo en los poros e intersticios de las formaciones geológicas de origen sedimentario, ígneo o metamórfico, aprovechando las fallas, sendas, fisuras o fracturas. Tanto las aguas superficiales como las subterráneas son el mismo recurso hídrico fluyendo por un medio físico diferente. El agua superficial fluye más rápidamente a través de los cursos de agua, mientras que el subterráneo lo hace lentamente a través de las formaciones geológicas. Es un recurso finito, limitado, de gran valor económico.

- Tipos de acuíferos y de pozos:**

Se denomina acuífero freático aquel en que la napa de agua se encuentra libre con una superficie sobre la cual actúa la presión atmosférica.

- Acuífero artesiano: es aquel en que el agua en el contenido se encuentra confinada por mantos impermeables y sujetos a una presión mayor que la presión atmosférica. La extracción del agua de los acuíferos se realiza a través de los pozos tubulares profundos siendo este una obra de ingeniería y como tal sujeto a aspectos legales y técnicos que están establecidos. (SEAM)

ESTACIONES DE BOMBEO EN SISTEMAS DE AGUA

Las estaciones de bombeo son componentes esenciales de los sistemas de abastecimiento de agua, siendo utilizado en la captación, aducción, tratamiento y distribución.

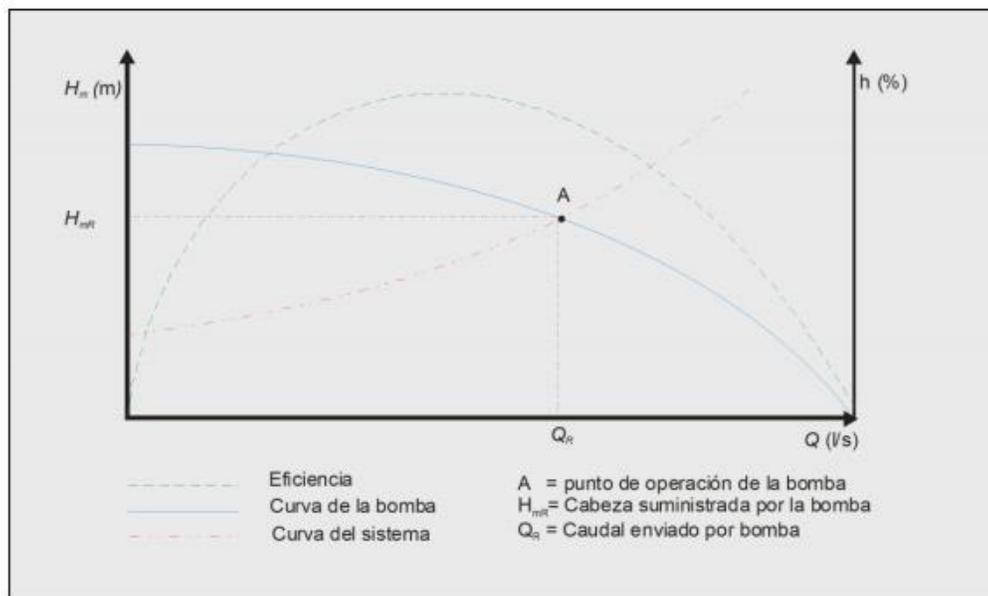
Clasificación general de las bombas:

Las bombas roto dinámicas o cinéticas suministran energía al agua como energía de velocidad, esa energía se convierte dentro de la bomba en energía de presión, se clasifican de acuerdo a la forma de sus rotores (impulsores) en:

- Bombas centrífugas (flujo radial) Presenta una presión relativamente alta con un caudal bajo.
- Bombas de flujo axial: generan un caudal alto con una baja presión.
- Bombas de flujo mixto: tienen Características que semejan algo intermedio a los dos casos.

Punto de Operación de la Bomba:

Una vez construidas las curvas de la bomba y la del sistema es fácil encontrar el punto de operación de la bomba, es decir el caudal que está siendo enviado y la altura aumentada por la bomba. Dicho punto de operación es el corte de las dos curvas siguientes:



Punto de operación de la bomba. Es el cruce entre las curvas de la bomba y del sistema en que ésta se encuentra operando.

Ubicación de la estación de bombeo:

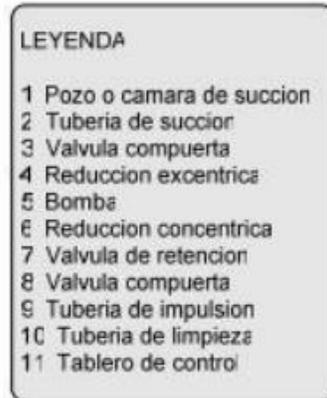
La ubicación de la estación de bombeo debe ser seleccionada de tal manera que permita un funcionamiento seguro y continuo, para lo cual se tendrá en cuenta los siguientes factores:

- Fácil acceso en las etapas de construcción, operación y mantenimiento.
- Protección de la calidad del agua de fuentes contaminantes.
- Protección de inundaciones, deslizamientos y crecidas de ríos.
- Eficiencia hidráulica del sistema de impulsión o distribución.
- Disponibilidad de energía eléctrica, de combustión u otro tipo.
- Topografía del terreno.
- Características de los suelos.

Capacidad de la estación de bombeo:

La determinación del caudal de bombeo debe realizarse sobre la base de la concepción básica del sistema de abastecimiento, de las etapas para la implementación de las obras y del régimen de operación previsto para la estación de bombeo.

ESQUEMA BASICO DE UNA ESTACION DE BOMBEO



Tipo de abastecimiento: Se deben considerar dos casos:

-Cuando el sistema de abastecimiento de agua incluye reservorio de almacenamiento posterior a la estación de bombeo; la capacidad de la tubería de succión (si corresponde), equipo de bombeo y tubería de impulsión deben ser calculadas con base en el caudal máximo diario y el número de horas de bombeo.

-Cuando el sistema de abastecimiento de agua no incluye reservorio de almacenamiento posterior a la estación de bombeo, la capacidad del sistema de bombeo debe ser calculada en base al caudal máximo horario y las pérdidas en la red distribución.

Potencia del equipo de bombeo

El cálculo de la potencia de la bomba y del motor debe realizarse con la siguiente fórmula:

$$P_b = \frac{Q_b H_b}{76 \eta}$$

Donde:

- Pb = Potencia de la bomba y del motor (HP).
- Qb = Caudal de bombeo (l/s).
- Hb = Altura manométrica total (m).
- η = Eficiencia del sistema de bombeo, η=η_{motor} η_{bomba}

Debe consultarse al proveedor o fabricante, sobre las curvas características de cada Bomba y motor para conocer sus capacidades y rendimientos reales. La bomba seleccionada debe impulsar el volumen de agua para la altura dinámica Deseada, con una eficiencia mayor a 70%.

Tuberías y accesorios de impulsión:

El diámetro de la tubería de impulsión deberá ser determinado en base a un análisis Técnico económico; teóricamente puede asumir cualquier valor; sin embargo, existe un Valor para el cual cumple los criterios mencionados. El análisis debe considerar que, si el diámetro adoptado es grande, la pérdida de Carga en la tubería será pequeña y por tanto la potencia de la bomba será reducida; Consecuentemente el costo de la bomba será reducido, pero el de la tubería de impulsión será elevado.

El cálculo de la tubería de impulsión para sistemas que trabajan continuamente se puede calcular empleado la fórmula de Bresse:

Donde:

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

- D = Diámetro económico, m.
- K = Coeficiente entre 0.9-4.0.
- Q = Caudal de bombeo, m³/s.

ACUEDUCTOS Y TUBERIAS PARA AGUA: El vocablo latino aquaeductus llegó al castellano como acueducto. Se trata de un cauce construido artificialmente para llevar el agua hacia un sitio específico. Este tipo de sistemas posibilita que el agua fluya desde el espacio donde se encuentra de modo natural hasta un lugar distinto, donde es utilizada por las personas.

CRITERIOS BASICOS PARA EL DISEÑO: Al iniciar el planteamiento de un programa de acueducto es necesario establecer y analizar las características que conforman los criterios de diseño.

- Disponibilidad en cantidad y calidad del agua de las fuentes
- Estadísticas de consumo de agua en la localidad en estudio o en similares.
- Periodo de diseño y vida probables de las estructuras.
- Variaciones periódicas de los consumos e influencias sobre los componentes del sistema.
- Calidad de los materiales a utilizar.

PASO 1: Definición del tamaño del sistema El primer paso para el diseño de un proyecto relacionado con sistemas de acueducto, es la definición del tamaño de éste. En particular, para definir el tamaño del proyecto se deben tener en cuenta los siguientes puntos: La clasificación del proyecto de acueducto dependerá del número de habitantes en la zona urbana de municipio, de su capacidad socioeconómica o del nivel de dificultad técnica que se requiera para llevar a cabo el proyecto.

| <i>Nivel de complejidad</i> | <i>Población en la zona urbana (1) (habitantes)</i> | <i>Capacidad económica de los clientes(2)</i> |
|-----------------------------|---|---|
| Bajo | < 2500 | Baja |
| Medio | 2501 a 12500 | Baja |
| Medio Alto | 12501 a 60000 | Media |
| Alto | > 60000 | Alta |

Para clasificar el municipio dentro de los Niveles de Complejidad del Sistema se debe Utilizar la proyección del casco urbano del municipio al periodo de diseño del sistema de acueducto. En caso de que exista, debe tenerse en cuenta la población flotante que llega al municipio.

ASPECTOS AMBIENTALES: Relacionados con el sistema de acueducto, todo proyecto de diseño de un sistema de acueducto debe seguir lo establecido por nuestras normas, referente a los aspectos ambientales.

EVALUACION SOCIOECONOMICA: Todo proyecto de un sistema de acueducto debe estar justificado desde el punto de vista socioeconómico con la identificación de un problema de bienestar social, de salud pública, o de impacto al medio ambiente, el cual debe tener solución con la ejecución del diseño propuesto, ya sea mediante la ampliación de la cobertura de servicio de acueducto o a través de una mejora en su eficiencia y/o calidad.

DEFINICION DEL ALCANCE DEL PROYECTO: Una vez justificado el proyecto se debe hacer una definición de los alcances específicos. Estos pueden incluir el diseño de un sistema completamente nuevo en un área la Extensión de un sistema de acueducto existente, la ampliación de un sistema existente por aumento en la densidad poblacional en el periodo de diseño, etc.

IV- Reservorios

Tienen como principal objetivo el almacenamiento del agua para el consumo humano. Estos reservorios pueden ser construidos bajo tierra o en superficie elevada para almacenar agua antes de tratarla.

Reservorio de almacenamiento: La importancia del reservorio radica en garantizar el funcionamiento hidráulico del sistema y el mantenimiento de un servicio eficiente, en función a las necesidades de agua proyectadas y el rendimiento admisible de la fuente. Un sistema

de abastecimiento de agua potable requerirá de un reservorio cuando el rendimiento admisible de la fuente sea menor que el gasto máximo horario (Q_{mh}). En caso que el rendimiento de la fuente sea mayor que el Q_{mh} no se considera el reservorio, y debe asegurarse que el diámetro de la línea de conducción sea suficiente para conducir el gasto máximo horario, que permita cubrir los requerimientos de consumo de la población.

Consideraciones básicas: Los aspectos más importantes a considerarse para el diseño son la capacidad, ubicación y tipo de reservorio.

- **Capacidad del reservorio:** es necesario considerar la compensación de las variaciones horarias, emergencia para incendios, previsión de reservas.
- **Cálculo de la capacidad del reservorio:** se considera la compensación de variaciones horarias de consumo y los eventuales desperfectos en la línea de conducción.

Cálculo de la capacidad del reservorio: Para el cálculo del volumen de almacenamiento se utilizan métodos gráficos y analíticos. Los primeros se basan en la determinación de la "curva de masa" o de "consumo integral", considerando los consumos acumulados; para los métodos analíticos, se debe disponer de los datos de consumo por horas y del caudal disponible de la fuente, que por lo general es equivalente al consumo promedio diario.

- Determinación del volumen de regulación: Los reservorios deben permitir que las demandas máximas que se producen en el consumo sean satisfechas cabalmente, al igual que cualquier variación en los consumos registrados en las 24 horas del día, proveyendo presiones adecuadas en la red de distribución.

Tipos de reservorio de almacenamiento:

- Reservorios de cabecera: Se alimentan directamente de la fuente o planta de tratamiento mediante gravedad o bombeo. Causa una variación relativamente grande de la presión en las zonas extremas de la red de distribución.
- Reservorios flotantes: Se ubican en la parte más alejada de la red de distribución con relación a la captación o planta de tratamiento, se alimentan por gravedad o por bombeo. Almacena agua en las horas de menor consumo y auxilia el abastecimiento de la ciudad durante las horas de mayor consumo.

Ubicación del reservorio: La ubicación y nivel del reservorio de almacenamiento deben ser fijados para garantizar que las presiones dinámicas en la red de distribución se encuentren dentro de los límites de servicio. El **nivel mínimo** de ubicación viene fijado por la necesidad de que se obtengan las presiones mínimas y el **nivel máximo** viene impuesto por la resistencia de las tuberías de la red de distribución.

- La presión dinámica en la red debe estar referida al nivel de agua mínimo del reservorio, mientras que la presión estática al nivel de agua máximo.
- Por razones económicas, sería recomendable ubicar el reservorio próximo a la fuente de abastecimiento o de la planta de tratamiento y dentro o en la cercanía de la zona de mayores consumos.

Formas del reservorio:

- Esférica: Tiene las siguientes **ventajas**: a) presenta la menor cantidad de área de paredes para un volumen determinado y b) toda ella está sometida a esfuerzo de tensión y compresión simples. Su mayor **desventaja** estriba en aspectos de construcción, lo cual obliga a encofrados de costos elevados.
- Paralelepípedo: Tiene la **ventaja** de reducir grandemente los costos de encofrado; sin embargo, al ser sus paredes rectas producen momentos que obligan a espesores y refuerzos estructurales mayores. Las formas que reducen los momentos por empuje de agua son aquellas que tienden a la forma cilíndrica, como los hexágonos, octágonos, etc.
- Cilíndricas: Tienen la **ventaja** estructural que las paredes están sometidas a esfuerzos de tensión simple, por lo cual requieren menores espesores, pero tienen la **desventaja** de costos elevados de encofrado. Las losas de fondo y tapa, las cuales pueden ser planas o en forma de cúpula, se articulan a las paredes.

Esta es la forma más recomendable para los reservorios en las zonas rurales, presentándose dos casos:

- Si la capacidad del reservorio es menor o igual a 50 m³, es recomendable que la tapa y losa de fondo sean planas.

- Para una capacidad mayor a 50 m³, es recomendable que la tapa y la losa sean semiesféricas.

Diseño estructural del reservorio: Las cargas de diseño en un reservorio elevado se determinan a partir de la profundidad del agua almacenada. Las cargas vivas, son bastantes pequeñas. Es importante que el análisis sea lo más exacto posible de manera que el que diseña pueda obtener una idea clara de la distribución de cargas en la estructura.

La información de suelos es de gran importancia de modo de que la estructura pueda ser diseñada para minimizar asentamientos diferenciales que puedan conducir a agrietamiento. Las estructuras en sanitarias deben ser diseñadas para minimizar filtraciones. El diseño debe ser realizado utilizando el método en base a cargas de trabajo, ya que da una mejor visión de la distribución de esfuerzos bajo cargas de servicio. El ACI recomienda emplear el método elástico y el método de diseño a la rotura.

Análisis de reservorios circulares: Los reservorios circulares presentan la ventaja que la relación entre la superficie de contacto con el agua y su capacidad, es menor que la correspondiente a los tanques rectangulares; además, requiere menor cantidad de materiales. Por otro lado, presentan la desventaja que el costo del encofrado es mayor.

a), considerándola empotrada en la base en un caso y rotulada en el otro, la distribución de fuerzas no es triangular como en los reservorios rectangulares

b) La tensión en la cara interior se presenta en la parte baja, mientras que, en casi toda su altura, la cara exterior está traccionada.

Reservorios elevados: Consta de dos partes principales: el tanque de almacenamiento o cuba y la estructura de soporte. La estructura portante puede estar constituida por un fuste cilíndrico o tronco cónico, usadas en reservorios medianos y pequeños. En las zonas rurales los reservorios son usualmente pequeños o medianos, por lo cual esta sección está orientada al diseño de reservorios que se apoyan sobre columnas arriostradas.

- **Diseño de la cuba:** La cuba que tiene mejor comportamiento estructural es la de sección circular. Para reservorios pequeños el fondo puede ser construido de forma plana. Si el reservorio es relativamente grande, puede ser necesario disponer vigas que sirva de apoyo a la losa de fondo. Sin embargo, en los más pequeños, ésta se apoya en las paredes.

Tubería de entrada: El diámetro esta tubería está definida por la línea de impulsión, y deberá estar provisto de una válvula compuerta de cierre de igual diámetro antes de la entrada al reservorio. La distancia entre la generatriz inferior de la tubería de ingreso y la generatriz superior de la tubería de rebose debe ser mayor a 5 cm.

Tubería de paso directo (by-pass): Se debe considerar el uso de by-pass con el objeto de mantener el servicio mientras se efectúa el lavado o la reparación del reservorio.

Tubería de salida: El diámetro de la tubería de salida será el correspondiente al diámetro de la matriz de distribución, debiendo estar provisto de una válvula compuerta de cierre. La tubería de salida debe ubicarse en la parte baja del reservorio y deberá estar provista de una canastilla de succión.

Tubería de limpieza: Se deberá ubicar en el fondo del reservorio el cual deberá contar con una pendiente no menor a 1% hacia la tubería de limpieza. El diámetro de la tubería de limpieza será diseñado para permitir el vaciado del tanque en tiempo no mayor a 2 horas. La tubería de limpieza deberá estar provista de una válvula compuerta.

Tubería de rebose: La tubería de rebose debe ser dimensionada para posibilitar la descarga del caudal de bombeo que alimenta al reservorio. El diámetro de la tubería de rebose estará determinado por la altura de la cámara de aire en el reservorio. La tubería de rebose se conectará con descarga libre a la tubería de limpieza y no se proveerá de válvula de compuerta, permitiendo la descarga en cualquier momento.

Ventilación: impiden la penetración de insectos y pequeños animales. Para ello es aconsejable la utilización de tubos en "U" invertida, protegidos a la entrada con rejillas o mallas milimétricas y separadas del techo del reservorio a no menos de 30 cm. El diámetro mínimo de esta tubería es 2".

Limitadores de nivel: debe disponerse de un dispositivo limitador de nivel máximo de agua, destinado a impedir la pérdida de agua a través del rebose.

Medidor: Se instala en la tubería de salida con la finalidad de medir los volúmenes de agua entregados en forma diaria y las variaciones del caudal.

Indicador de nivel: dispositivo indicador de la altura de agua en el reservorio, el cual no debe ser capaz de deteriorar la calidad del agua. Para este fin se podría emplear el sistema constituido por una boya, cuerda y regla graduada.

Aspectos complementarios:

- Borde libre: El reservorio debe estar provisto de una altura libre por encima del nivel máximo de agua. La altura libre no debe ser menor a 0,20 m.
- Revestimiento interior: El fondo y las paredes del tanque, deben ser impermeables, independientemente de cualquier tratamiento especial, como pintura o revestimiento.
- Boca de visita: Cada reservorio debe contar por lo menos con una abertura para inspección de 0,60 x 0,0 m como mínimo.
- Escaleras: Las escaleras de acceso serán tipo marinera y deben estar provistas de jaula de protección.
- Protección contra la luz natural: No será permitida la entrada de luz natural al interior del reservorio de forma permanente a fin de evitar la formación de algas en el interior del mismo.
- Cerco de protección: Los reservorios deben estar protegidos mediante un cerco o muro con una altura y resistencia necesarias para evitar el acceso directo de personas no autorizadas o animales.

V- Red de distribución

Es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques de servicio o de distribución hasta la toma domiciliaria o el hidrante público. Su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial, industrial y para condiciones extraordinarias como el extinguir incendios.

Definiciones previas.

- Conexión predial simple: Aquella que sirve a un solo usuario
- Conexión predial múltiple. Es aquella que sirve a varios usuarios
- Elementos de control. Dispositivos que permiten controlar el flujo de agua.
- Hidrante. Grifo contra incendio.
- Ramal distribuidor. Es la red que es alimentada por una tubería principal, se ubica en la vereda de los lotes y abastece a una o más viviendas.
- Tubería Principal. Es la tubería que forma un circuito de abastecimiento de agua cerrado y/o abierto y que puede o no abastecer a un ramal distribuidor.
- Caja Portamedidor. Es la cámara en donde se ubicará e instalará el medidor
- Profundidad. Diferencia de nivel entre la superficie de terreno y la generatriz inferior interna de la tubería (clave de la tubería).
- Conexión Domiciliaria de Agua Potable. Conjunto de elementos sanitarios incorporados al sistema con la finalidad de abastecer de agua a cada lote.
- Medidor. Elemento que registra el volumen de agua que pasa a través de él.

Red de distribución de agua potable abierta o ramificada

Este tipo de red de distribución se caracteriza por contar con una tubería Principal de distribución (la de mayor diámetro) desde la cual parten ramales que terminarán en puntos ciegos, es decir sin interconexiones con otras tuberías en la misma Red de Distribución de Agua Potable.

Red de distribución de agua potable cerrada o mallada: En este tipo de red, se logra la conformación de mallas o circuitos a través de la interconexión entre los ramales de la Red de Distribución de Agua Potable.

Componentes de una red.

- Tuberías: Se le llama así al conjunto formado por los tubos (conductos de sección circular) y su sistema de unión o ensamble. Para fines de análisis se denomina tubería al conducto comprendido entre dos secciones transversales del mismo.
- Piezas especiales: Son todos aquellos accesorios que se emplean para llevar a cabo ramificaciones, intersecciones, cambios de dirección, modificaciones de diámetro, uniones de tuberías de diferente material o diámetro, y terminales de los conductos, entre otros.
- Válvulas: Son accesorios que se utilizan para disminuir o evitar el flujo en las tuberías. Pueden ser clasificadas de acuerdo a su función en dos categorías:
 1. Aislamiento o seccionamiento, las cuales son utilizadas para separar o cortar el flujo del resto del sistema de abastecimiento en ciertos tramos de tuberías,
 2. Control usadas para regular el gasto o la presión
- Hidrantes: Se le llama de esta manera a una toma o conexión especial instalada en ciertos puntos de la red con el propósito de abastecer de agua a varias familias (hidrante público) o conectar una manguera o una bomba destinadas a proveer agua para combatir el fuego (hidrante contra incendio).
- Tanques de distribución: Un tanque de distribución es un depósito situado generalmente entre la captación y la red de distribución que tiene por objeto almacenar el agua proveniente de la fuente. El almacenamiento permite regular la distribución o simplemente prever fallas en el suministro, aunque algunos tanques suelen realizar ambas funciones.
- Tomas domiciliarias: Una toma domiciliaria es el conjunto de piezas y tubos que permite el abastecimiento desde una tubería de la red de distribución hasta el predio del usuario, así como la instalación de un medidor. Es la parte de la red que demuestra la eficiencia y calidad del sistema de distribución pues es la que abastece de agua directamente al consumidor.
- Rebombes: Consisten en instalaciones de bombeo que se ubican generalmente en puntos intermedios de una línea de conducción y excepcionalmente dentro de la red de Distribución. Tienen el objetivo de elevar la carga hidráulica en el punto de su ubicación para mantener la circulación del agua en las tuberías.
- Cajas rompedoras de presión: Son depósitos con superficie libre del agua y volumen relativamente pequeño, cuya función es permitir que el flujo de la tubería se descargue en ésta, eliminando de esta forma la presión hidrostática y estableciendo un nuevo nivel estático aguas abajo.

El agua se distribuye a los usuarios en función de las condiciones locales de varias maneras:

- Por gravedad: El agua de la fuente se conduce o bombea hasta un tanque elevado desde el cual fluye por gravedad hacia la población.
- Por bombeo. El bombeo puede ser de dos formas:
 1. Bombeo directo a la red, sin almacenamiento:
 2. Bombeo directo a la red, con excedencias a tanques de regulación
- Distribución mixta: En este caso, parte del consumo de la red se suministra por bombeo con excedencias a un tanque del cual a su vez se abastece el resto de la red por gravedad.

Disposiciones específicas para diseño:

- ✓ Levantamiento topográfico.

La información topográfica para la elaboración de proyectos incluirá:

*Plano de lotización con curvas de nivel cada 1 m. indicando la ubicación y Detalles de los servicios existentes y/o cualquier referencia importante.

*Perfil longitudinal a nivel del eje del trazo de las tuberías principales y/o ramales distribuidores en todas las calles del área de estudio y en el eje de la vía donde técnicamente sea necesario.

*Secciones transversales de todas las calles.

*Perfil longitudinal de los tramos que sean necesarios para el diseño de los empalmes con la red de agua existente.

*Se ubicará en cada habilitación un BM auxiliar como mínimo y dependiendo del tamaño de la habilitación se ubicarán dos o más, en puntos estratégicamente distribuidos para verificar las cotas de cajas a instalar.

- ✓ Suelos: Se deberá realizar el reconocimiento general del terreno y el estudio de evaluación de sus características, considerando los siguientes aspectos:

Determinación de la agresividad del suelo con indicadores de PH, sulfatos, cloruros y sales solubles totales.

Otros estudios necesarios en función de la naturaleza del terreno, a criterio del consultor.

- ✓ Población: Se deberá determinar la población y la densidad poblacional para el periodo de diseño adoptado.

La determinación de la población final para el periodo de diseño adoptado se realizará a partir de proyecciones, utilizando la tasa de crecimiento distrital y/o provincial establecida por el organismo oficial que regula estos indicadores.

- ✓ Análisis hidráulico: Las redes de distribución se proyectarán, en principio y siempre que sea posible en circuito cerrado formando malla. Su dimensionamiento se realizará en base a cálculos hidráulicos que aseguren caudal y presión adecuada en cualquier punto de la red.
- ✓ Diámetro mínimo: El diámetro mínimo de las tuberías principales será de 75 mm para uso de vivienda y de 150 mm de diámetro para uso industrial.

El valor mínimo del diámetro efectivo en un ramal distribuidor de agua será el determinado por el cálculo hidráulico. Cuando la fuente de abastecimiento es agua subterránea, se adoptará como diámetro nominal mínimo de 38 mm o su equivalente.

- ✓ Velocidad: La velocidad máxima será de 3 m/s. En casos justificados se aceptará una velocidad máxima de 5 m/s.
- ✓ Presiones: La presión estática no será mayor de 50 m en cualquier punto de la red. En condiciones de demanda máxima horaria, la presión dinámica no será menor de 10m.
- ✓ Ubicación y recubrimiento de tuberías

* En todos los casos las tuberías de agua potable se ubicarán, respecto a las redes eléctricas, de telefonía, conductos de gas u otros, en forma tal que garantice una instalación segura.

* En las calles de 20 m de ancho o menos, las tuberías principales se proyectarán a un lado de la calzada como mínimo a 1.20 m del límite de propiedad y de ser posible en el lado de mayor altura

* El ramal distribuidor de agua se ubicará en la vereda, paralelo al frente del lote, a una distancia máxima de 1.20 m. desde el límite de propiedad hasta el eje del ramal distribuidor.

* La distancia mínima entre los planos verticales tangentes más próximos de una tubería principal de agua potable y una tubería principal de aguas residuales, instaladas paralelamente, será de 2 m, medido horizontalmente.

* En las vías peatonales, pueden reducirse las distancias entre tuberías principales y entre éstas y el límite de propiedad, así como los recubrimientos siempre y cuando:

* Se diseñe protección especial a las tuberías para evitar su fisuramiento o ruptura.

* Si las vías peatonales presentan elementos (bancas, jardines, etc.) que impidan el paso de vehículos.

* En vías vehiculares, las tuberías principales de agua potable deben proyectarse con un recubrimiento mínimo de 1 m sobre la clave del tubo. Recubrimientos menores, se deben justificar. En zonas sin acceso vehicular el recubrimiento mínimo será de 0.30 m.

- ✓ Válvulas

* La red de distribución estará provista de válvulas de interrupción que permitan aislar sectores de redes no mayores de 500 m de longitud.

* Se proyectarán válvulas de interrupción en todas las derivaciones para ampliaciones. * Las válvulas deberán ubicarse, en principio, a 4 m de la esquina o su proyección entre los límites de la calzada y la vereda.

* Las válvulas utilizadas tipo reductoras de presión, aire y otras, deberán ser instaladas en cámaras adecuadas, seguras y con elementos que permitan su fácil operación y mantenimiento.

* Deberá evitarse los “puntos muertos” en la red, de no ser posible, en aquellos de cotas más bajas de la red de distribución, se deberá considerar un sistema de purga.

- ✓ Hidrantes contra incendio: Los hidrantes contra incendio se ubicarán en tal forma que la distancia entre dos de ellos no sea mayor de 300 m. Los hidrantes se proyectarán en derivaciones de las tuberías de 100 mm de diámetro o mayores y llevarán una válvula de compuerta.

Anclajes y empalmes: Deberá diseñarse anclajes de concreto simple, concreto armado o de otro tipo en todo accesorio de tubería, válvula e hidrante contra incendio, considerando el diámetro, la presión de prueba y el tipo de terreno donde se instalarán.

VI- Laguna de Estabilización

CONCEPTO: Una laguna de estabilización es una estructura simple para embalsar aguas residuales.

OBJETIVOS: mejorar sus características sanitarias.

- Protección epidemiológica: Eliminar microorganismos patógenos que representan un grave peligro para la salud.
 - Protección ecológica: Disminución de la carga orgánica (DBO5) de las aguas residuales, lográndose de esta manera que el nivel de oxígeno disuelto (OD) en los cuerpos receptores se vea menos comprometido, beneficio para los peces y demás organismos acuáticos.
 - Reuso: Utilizar su efluente para reutilización, con otras finalidades, como en la agricultura y piscicultura, evitando los riesgos e inconvenientes del reuso de aguas residuales crudas.
- ✓ Se construyen de poca profundidad (2 a 4 m)
 - ✓ Con períodos de retención relativamente grandes (por, lo general de varios días).

| DIFERENCIAS ENTRE ESTANQUE Y LAGUNA | |
|-------------------------------------|----------------------------|
| ESTANQUE | LAGUNA |
| O2 por fotosíntesis | O2 por aeración artificial |
| Mayor profundidad | Menor área superficial |
| 4-6 metros | 1.5-2 metros |

Cuando el agua residual es descargada en una laguna de estabilización se realiza en forma espontánea un PROCESO o purificación o estabilización natural en el que tienen lugar fenómenos de tipo físico, químico y biológico.

Los parámetros más utilizados para evaluar el comportamiento de las lagunas de estabilización de aguas residuales y la calidad de sus efluentes son:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que caracteriza la carga orgánica.
- Número más probable de coliformes fecales (NMP CF/100ml), que caracteriza la contaminación microbiológica.

Tienen importancia: los sólidos totales sedimentables, en suspensión y disueltos.

ORGANISMO INDICADOR: Coliforme Total (*Clostridium perfringens*) Coliforme Fecal (*E.Coli*) [capacidad para crecer a 44,5°C ± 0,5°C]. En países tropicales *E.Coli* no es el coliforme predominante, así coliformes totales es la medida más útil de contaminación.

- Detección de patógenos difícil (NMP): costosa, poco práctica

| CLASIFICACIÓN DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN (según características) | | | |
|--|-----------------|------------------------|------------|
| Funcionamiento | Nº de estanques | Posición en el sistema | Conexiones |
| Aeróbicas | Simples | Primarias | Serie |
| Facultativas | Compuestas | Secundarias | Paralelo |
| Anaeróbicas | | Terciarias | |

Tipos de lagunas de estabilización:

- Anaerobias
- Facultativas
- Aerobias
- Maduración

LAGUNAS ANAEROBIAS: El tratamiento se lleva a cabo por la acción de bacterias anaerobias. Como consecuencia de la elevada carga orgánica y el corto periodo de retención del agua residual, el contenido de oxígeno disuelto se mantiene muy bajo o nulo durante todo el año. El objetivo es retener la mayor parte posible de los sólidos en suspensión, que pasan a incorporarse a la capa de fangos acumulados en el fondo y eliminar parte de la carga orgánica.

La estabilización en estas lagunas tiene lugar mediante las etapas siguientes.

- Hidrólisis: Los compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos y solubles en agua.
- Formación de metano: una vez que se han formado los ácidos orgánicos, una nueva categoría de bacterias actúa y los utiliza para convertirlos finalmente en metano y dióxido de carbono.

LAGUNAS FACULTATIVAS: Son aquellas que poseen una zona aerobia y una anaerobia, siendo respectivamente en superficie y fondo. La finalidad es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionando principalmente por las algas presentes.

El objetivo es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes.

- Microorganismos: desde anaerobios estrictos, en el fango del fondo, hasta aerobios estrictos en la zona inmediatamente adyacente a la superficie.

LAGUNAS AEROBIAS: Son grandes depósitos de poca profundidad donde los microorganismos se encuentran en suspensión. Prevalecen condiciones aerobias. El oxígeno es suministrado en forma natural por la aeración de la superficie artificial o por la fotosíntesis de las algas. La población biológica comprende bacterias y algas principalmente protozoarios y rotíferos, en menor medida.

Las lagunas aerobias se pueden clasificar, según el método de aireación sea natural o mecánico:

- Lagunas aerobias: la aireación es natural, siendo el oxígeno suministrado por intercambio a través de la interfase aire-agua y fundamentalmente por la actividad fotosintética de las algas
- Lagunas aireadas: en ellas la cantidad de oxígeno suministrada por medios naturales es insuficiente para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica, necesiándose un suministro adicional de oxígeno por medios mecánicos.

Las algas constituyen la mejor fuente de oxígeno, para mantener las condiciones aerobias y los protozoarios y rotíferos ayudan a mejorar la calidad del efluente al alimentarse de las bacterias.

Las bacterias que realizan la conversión de la materia orgánica en las lagunas pertenecen a los géneros Pseudomonas, Zoogloea, Achromobacter, Flavobacteria, Nocardia, Mycobacteria, Nitrosomonas y Nitrobacter.

LAGUNAS DE MADURACIÓN: Este tipo de laguna tiene como objetivo fundamental la eliminación de bacterias patógenas. Además de su efecto desinfectante, las lagunas de maduración cumplen otros objetivos, como son la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado.

Ventajas:

- La estabilización de la materia orgánica alcanzada es muy elevada.
- La eliminación de microorganismos patógenos es muy superior a la alcanzada mediante otros métodos de tratamiento.
- Presentan una gran flexibilidad en el tratamiento de puntas de carga y caudal.
- Pueden emplearse para el tratamiento de aguas residuales industriales con altos contenidos en materia biodegradables.
- Desde el punto de vista económico, es mucho más barato que los métodos convencionales, con bajos costos de instalación y mantenimiento.
- El consumo energético es nulo.
- En el proceso de lagunaje se generan biomásas potencialmente valorizables una vez separada del efluente.

Desventajas:

- La presencia de materia en suspensión en el efluente, debido a las altas concentraciones de fitoplancton.
- Ocupación de terreno, que es superior a la de otros métodos de tratamiento.
- Las pérdidas considerables de agua por evaporación en verano.

Tabla I: Variaciones en el proceso de tratamiento de aguas residuales por lagunas

| Tipo de Laguna | Nombre Común | Características | Aplicación |
|---|--|---|--|
| Aerobia | a: De Baja Velocidad | Diseñada para mantener condiciones aerobias en todas las áreas de la laguna | Tratamiento de residuos orgánicos solubles y efluentes secundarios |
| | b: De Alta Velocidad | Diseñada para tener una alta producción de algas y tejido celular | Remoción de Nutrientes. Tratamiento de residuos solubles. Conversión de desechos |
| | c: Laguna de Maduración o Laguna Terciaria | Similar a las Lagunas de Baja Velocidad pero con baja carga orgánica | Empleado como un paso adicional de tratamiento de aguas previamente tratadas en filtros biológicos o lodos activados |
| Aerobio/Anaerobio. Oxígeno suplementado con aireación externa | Lagunas Facultativas con aireación | Más profundas que las lagunas de aireación de alta velocidad. La aireación y la fotosíntesis proporciona oxígeno para la estabilización de las capas superiores. Las capas inferiores llevan un proceso de digestión anaerobia. | Para tratamiento de aguas domésticas o industriales sin tratamiento previo |
| Aerobio/Anaerobio. Oxígeno suplementado por algas | Lagunas Facultativas | Similar al anterior excepto que el oxígeno es proporcionado por aireación natural y por fotosíntesis | Para tratamiento de aguas domésticas o industriales sin tratamiento previo |
| Anaerobia | Laguna Anaerobia | Las condiciones anaerobias prevalecen aunque por periodos la laguna pueda ser facultativa | Tratamiento de aguas domésticas e industriales |
| Anaerobia seguida por Aerobia/Anaerobia | Sistema de Lagunas | Combinación de Lagunas como se describe. Puede utilizarse recirculación de la laguna aerobia a la anaerobia | Tratamiento completo de aguas residuales municipales o industriales con una alta remoción de bacterias. |

TIEMPOS DE RETENCIÓN: Es el tiempo que teóricamente pasa el agua dentro del sistema de tratamiento biológico y que se utiliza en el diseño. (Tiempo de retención hidráulica)

$$\tau = \frac{V}{Q}$$

Donde: V: Volumen total del líquido contenido dentro de la laguna (m³)
 Q: Gasto de agua (m)

| | Anaerobia | Aerobia | Facultativa | Maduración |
|---------------------------|-----------|----------|-------------|------------|
| Profundidad (m) | 3-5 | 0.3-0.45 | 1.5-2.5 | 0.8-1.2 |
| Tiempo de retención(días) | 1-3 | 3-5 | 7-20 | >5 |

DEGRADACIÓN DEL CONTAMINANTE:

Los procesos biológicos que ocurren dentro: interacciones entre diversos grupos de bacterias que convierten los compuestos contaminantes (grandes cadenas de carbono) en otros más estables como CH₄, CO₂ e H₂ principalmente.

Para que estas interacciones sean eficientes es necesario:

- un equilibrio entre los grupos de microorganismos.
- pH
- altura del nivel del agua
- cantidad de desechos suministrado
- tiempo de permanencia del agua en la laguna, entre otros.

Si no se manejan adecuadamente existirán trastornos que conllevan a la muerte completa de los grupos bacteriales, disminuyendo, por tanto, el tratamiento del desecho.

LUGARES DONDE SE RECOMIENDA USAR: Las lagunas se utilizan principalmente para dar tratamiento a aguas residuales domésticas, por lo cual resultan un método eficaz de limpieza de agua residual. En la práctica se debe considerar la presencia de efluentes industriales sobre todo cuando éstos se encuentran en una proporción mayor al 20% del flujo total, del agua que entra a las lagunas.

TIPOS DE EFLUENTES INDUSTRIALES QUE PUEDEN CAUSAR PROBLEMAS EN EL PROCESO:

- Aquellos con altas concentraciones de fenoles, que inhiben la fotosíntesis. En este caso se debe efectuar un pretratamiento anaerobio o la segregación de la descarga tóxica.
- Efluentes con altos contenidos de materia orgánica que requiere un pretratamiento.
- Los de balance de nutrientes diferente al requerido que llegan a reducir la eficiencia del tratamiento o inhibir el crecimiento de microorganismos, especialmente de las algas y aumentan el riesgo de anaerobiosis en las lagunas facultativas. Esta situación se puede remediar alimentando descargas con elevado contenido de nutrientes, o bien, adicionando fertilizantes o estiércol.