

Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón



MANUAL DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZADOS EN JAPÓN

Comisión Nacional del Agua

Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados
en Japón

Edición 2013

D. R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209 Col. Jardines en la Montaña,
C. P. 14210, Tlalpan, México, D. F.

Comisión Nacional del Agua
Insurgentes Sur No. 2416 Col. Copilco El Bajo
C.P. 04340, Coyoacán, México, D.F.
Tel. (55) 5174-4000

Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento

Impreso y hecho en México
Distribución gratuita. Prohibida su venta.
Queda prohibido el uso para fines distintos al desarrollo social.
Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en
esta obra, sin fines de lucro y citando la fuente.

Contenido

Introducción.....	1
Antecedentes	3
1 Zanjas de infiltración o de lixiviación capilar	5
1.1 Características del proceso.....	5
1.1.1 Componentes básicos	6
1.2 Diseño.....	7
1.3 Selección del sitio.....	7
1.4 Elementos que integran el proceso	8
1.5 Construcción	8
1.5.1 Aspectos a revisar y verificar	8
1.5.2 Materiales de construcción	11
1.5.3 Recomendaciones durante la etapa de construcción	12
1.6 Aspectos operativos y de mantenimiento.....	12
1.7 Investigación y estudio de organismos presentes en el proceso.....	13
1.7.1 La importancia de los organismos del suelo	13
1.7.2 Organismos que viven en el suelo.....	13
2 Sistema Doyoo Yookasoo.....	14
2.1 Características del proceso.....	14
2.2 Ventajas.....	14
2.3 Diseño.....	15
2.3.1 Representación esquemática.....	15
2.3.2 Diagrama general del Proceso.....	15
2.3.3 Diagrama de flujo básico.....	16
2.3.4 Isométrico	17
2.3.5 Consideraciones.....	17
2.3.6 Rango de diseño	18
2.3.7 Descripción de las unidades del proceso.....	19
2.3.8 Descripción de los accesorios	21
2.3.9 Descripción del tratamiento de lodos	26
2.4 Metodología de diseño.....	27
2.4.1 Pretratamiento.....	28
2.4.2 Sedimentador primario.....	29
2.4.3 Aereador por contacto primario.....	30
2.4.4 Aereador por contacto secundario	32
2.4.5 Sedimentador secundario	34
2.4.6 Desinfección.....	36
2.4.7 Espesador de lodos.....	37
2.4.8 Almacenamiento de lodos	38
2.4.9 Sopladores y tuberías de aire.....	39
2.5 Ejemplo de aplicación	41
2.5.1 Sedimentador primario.....	41
2.5.2 Aereador por contacto primario.....	43
2.5.3 Aereador por contacto secundario.....	43
2.5.4 Sedimentador secundario.....	44
2.5.5 Desinfección.....	45
2.5.6 Espesador de lodos.....	45
2.5.7 Almacén de lodos.....	45
2.5.8 Sopladores	46
2.5.9 Planos de diseño	47

2.6 Compendio de fotografías del proceso constructivo	51
2.7 Estimación de costos	62
2.7.1 Obras y equipamiento (ejemplo de Japón)	62
2.7.2. Operación y mantenimiento, (costos de Japón)	62
2.8 Método de operación y mantenimiento	63
2.8.1 Aspectos generales.....	63
2.8.2 Operación y mantenimiento	64
Nomenclatura y equivalencias.....	69
Glosario de términos	70
Referencias bibliográficas	71

Prefacio

El “Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón”, es un documento que desarrolló la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA, por sus siglas en inglés) en coordinación con la Comisión Nacional del Agua (Conagua), para dar a conocer dos nuevas alternativas o procesos de tratamiento de aguas residuales municipales que pueden contribuir al saneamiento de comunidades menores a 2,500 habitantes. De los dos procesos que se analizaron y adecuaron a las condiciones del país, el más sencillo es el de las zanjas de infiltración o de lixiviación capilar, que puede emplearse como un complemento del sistema para tratar efluentes de fosas sépticas, de tanques Imhoff o de reactores anaerobios de flujo ascendente, entre otros. Las zanjas de infiltración o de lixiviación capilar tienen profundidades que varían de 45 a 60 cm y utilizan arena de río como medio capilar y filtrante en sustitución de grava que es el material utilizado en las zanjas de infiltración actuales, las que pueden llegar a tener profundidades de 90 a 120 cm. En ambos casos el agua residual pasa a través de estos medios para posteriormente infiltrarse en la tierra, por las paredes laterales de las zanjas y por la plantilla en el último caso. La menor profundidad de las zanjas de lixiviación y de su medio filtrante, son factores que pueden incidir a que tengan una mayor aplicación potencial en sitios con menores espesores de tierra orgánica útil o disponibilidad de terreno y en donde la presencia de la arena, que es una innovación, permite mejorar la calidad del agua que se filtra a través de la tierra lo cual puede aumentar la vida útil de estos sistemas. En el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS), se incorpora el proceso de lixiviación como se emplea en el país.

La segunda alternativa planteada, el sistema Doyoo Yookasoo, es un proceso mixto, de medio fijo y suspendido, que se puede considerar como una variante del proceso de lodos activados, con medio de contacto fijo sumergido aereado, de patente. En los reactores del Doyoo Yookasoo se incorpora grava como medio o lecho de contacto fijo sumergido, en lugar de empaque plástico, donde y con la ayuda de aire inyectado, la zooglea microbiana formada transforma la materia orgánica contaminante, para obtener efluentes de alta calidad y lodos de desecho con mayor grado de estabilización, para su posterior deshidratación, disposición o reuso final. El proceso utiliza difusores de aire del tipo burbuja fina, en lugar de difusores microporosos (más caros y de patente), que al estar en contacto con la grava de empaque incrementan su tiempo de contacto y eficiencia de oxigenación; en este proceso se evita la recirculación de lodos con lo cual la operación se simplifica. El Doyoo Yookasoo, en su actual presentación, es poco conocido en México no así en Japón donde se ha implementado como una solución al saneamiento de pequeñas comunidades de ese país, que cuentan con alcantarillado.

Los componentes de ambos procesos quedan confinados bajo tierra y su cubierta superficial (capa de tierra mejorada) es aprovechada para eliminar malos olores; la superficie que queda en la parte superior del sistema de tratamiento es aprovechada para formar áreas verdes o jardines, lo cual es una novedad. Ambos procesos son de fácil operación y control y, en alto porcentaje, pueden ser construidos con materiales y equipos del país.

Introducción

El Gobierno de México, a través de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), elaboró el Programa Nacional Hídrico (PNH) 2007-2012, en el marco del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, en el que se establecieron ocho objetivos principales, con sus respectivas metas e indicadores.

El Objetivo No. 2 de este programa busca incrementar el acceso y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento y establece como una de sus metas en materia de saneamiento, que el 60% de las aguas residuales que se generan y colectan a nivel nacional sean tratadas, para recuperar la calidad de ríos, lagos y lagunas, fomentar el reuso e intercambio de las aguas residuales y promover la recarga de los acuíferos.

Asimismo, el Programa Nacional Hídrico (PNH) establece como una de sus prioridades la atención al saneamiento de zonas marginadas y con alta marginación, para reducir la incidencia de enfermedades, lograr un ambiente apropiado para el desarrollo de las comunidades y evitar la propagación de vectores dañinos para la población.

A fin de atender esta prioridad, en febrero de 2008, la Conagua presentó a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) una solicitud de cooperación y asesoría técnica para la formulación, ejecución y evaluación de proyectos relacionados con la conservación de la calidad del agua y el saneamiento, particularmente sobre alternativas de tratamiento de aguas residuales de bajo costo para pequeñas comunidades rurales, así como planes integrales de saneamiento.

Como resultado de esta solicitud, en julio de 2009, la Conagua y la JICA acordaron que la cooperación se realizaría fundamentalmente en los siguientes aspectos: a) asesoría en formulación de proyectos para conservación de la calidad del agua; y b) asesoría en la revisión de métodos eficientes de tratamiento de aguas residuales adecuados para pequeñas comunidades. La modalidad que se convino fue el envío de un experto japonés, para colaborar dos años en forma espaciada, con técnicos de la Conagua.

Cabe mencionar que la Conagua, en años recientes, con la asistencia técnica de la JICA, llevó a cabo dos proyectos de Cooperación técnica: “Proyecto para Fortalecer la Red de Monitoreo de Calidad de Aguas Costeras” y “Proyecto de Mejoramiento de la Capacidad para Establecer Normas Mexicanas para los Criterios de Calidad del Agua”. Por tanto, a través de esta nueva colaboración, la JICA apoyará a la Conagua para que consolide su capacidad de implementación de proyectos y programas de conservación de la calidad del agua, aprovechando de manera eficiente los resultados logrados en los citados proyectos de cooperación técnica.

El trabajo del experto japonés asignado a la Conagua se enfocó fundamentalmente en las siguientes actividades:

- Recomendar sistemas de tratamiento de aguas residuales eficientes y económicos para pequeñas comunidades.
- Realizar diagnósticos en plantas de tratamiento de aguas residuales incorporadas dentro de los proyectos emblemáticos.

- Asesorar en la selección de sitios que se propongan para realizar proyectos piloto y de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, que sean acordes con los estudios de campo realizados.
- Asesorar y dar apoyo en los trabajos de ejecución y evaluación de los proyectos piloto que sean seleccionados.
- Apoyar en la elaboración de un manual sobre diseño y ejecución de proyectos de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en zonas no aptas para el tratamiento colectivo a gran escala.

Con base a este programa general de trabajo, el experto japonés asignado por la JICA a la Conagua, Dr. Shinya Kudo, de febrero de 2010 a febrero de 2012, elaboró en coordinación con personal de la Gerencia de Potabilización y Tratamiento, el presente documento denominado “Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón”, el cual tiene como objetivo:

- Fortalecer la capacidad institucional de la Conagua y de las instancias relacionadas con el saneamiento y el tratamiento de aguas residuales en México.
- Ser un documento técnico que permita la implementación de dos alternativas de tratamiento de aguas residuales de bajo costo y tecnología simplificada de Japón, que coadyuven a mejorar el saneamiento de pequeñas comunidades. Las alternativas en cuestión son: la zanja de lixiviación capilar y el proceso de tratamiento “Doyoo Yookasoo”.
- Proponer diseños tipo que puedan adaptarse a las necesidades de pequeñas localidades del país, que incluyan: aspectos sobre el proceso, construcción y operación de las plantas de tratamiento propuestas.

El documento está dirigido para su utilización y aplicación en campo a:

- Direcciones generales de organismos de cuenca y direcciones locales de la Conagua en los estados, en particular, a las áreas técnicas afines que desarrollan la planeación de proyectos de saneamiento de estas instancias.
- Organismos operadores estatales y municipales así como organismos descentralizados y desconcentrados de éstos.
- Organizaciones, universidades y demás instancias que realizan y/o coadyuvan en el saneamiento de pequeñas comunidades marginadas y rurales.

El presente manual es una herramienta que cuenta con los elementos necesarios para el diseño y construcción de zanjas de infiltración o de lixiviación capilar así como del proceso Doyoo Yookasoo, para lo cual se incluye en su interior elementos de diseño y construcción como son:

- Esquemas generales, componentes y descripción de su funcionamiento tanto en forma individual o en conjunto.
- Criterios de diseño de cada uno de sus componentes y algunos aspectos de la operación y mantenimiento.
- Ejemplo de diseño para el caso del Doyoo Yookasoo, donde se incluyen dibujos del conjunto, cortes y algunos detalles.

- Aspectos y características a considerar y vigilar de los materiales y equipamiento de ambos sistemas, para lo cual se incluyen fotografías inherentes de la instalación.
- Aspectos y elementos de construcción para lo cual se incluyen fotografías de las etapas constructivas.
- Guía de problemas y soluciones en la operación y mantenimiento del proceso y su equipamiento.

El diseño y construcción de ambos procesos puede ser desarrollado por ingenieros con cierta experiencia en procesos de tratamiento de aguas residuales y construcción de plantas, así como con sentido común y práctico, ya que la combinación de estas experiencias permitirán resolver problemas o situaciones que pueden presentarse en la construcción o puesta en operación.

El presente documento no pretende ser la solución única en cuanto al saneamiento, ya que presenta limitaciones que provienen de algunos dibujos y esquemas que se tomaron de un manual elaborado en Japón; sin embargo, dicho manual podrá ser mejorado en el futuro conforme se vayan construyendo este tipo de sistemas de tratamiento en el país.

Antecedentes

Situación del saneamiento en México

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI, México contaba con una población total de 112'336,538 habitantes, de éstos 25'834,979 (23%) se asentaban en 188,593 localidades con población hasta 2,500 habitantes. En 2010 la cobertura promedio a nivel nacional del servicio de agua potable fue del 90.9%, que corresponde al 95.59% en zonas urbanas y 75.7% en zonas rurales. En cuanto al alcantarillado, la cobertura nacional promedio fue del 89.6%, que corresponde al 96.27% en las zonas urbanas y 67.7% en las zonas rurales, lo que significa que 17.499 millones de habitantes en zonas rurales tienen este servicio: 10.43 millones de habitantes descargan a fosas sépticas (40.4% de la población rural), y 7.06 millones de habitantes (27.3%) descargan a redes de alcantarillado. De la población rural 8.34 millones (32.3% de la población) no cuenta con servicio alguno de saneamiento.

Las zonas rurales con menos recursos presentan un rezago en ambos servicios, debido a:

- Gran número,
- Gran dispersión,
- Ubicación geográfica y topográfica desfavorable, y
- Recursos económicos insuficientes.

Estos factores así como la idiosincrasia de la población dificultan el suministro de estos servicios básicos, para mejorar la calidad de vida de los habitantes.

Saneamiento básico

El 40.4 % de la población rural, 10.43 millones de habitantes de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI, disponían de fosas sépticas para descargar y tratar sus aguas residuales. El saneamiento para la población rural considera la construcción de fosas sépticas secas o húmedas unifamiliares y/o comunales, las que en muchos casos son simples pozos llamados pozos negros y en otros son fosas sépticas formales, construidas por la población; también incluye letrinas ecológicas construidas o suministradas a través de los programas de apoyo federales, estatales y/o municipales e internacionales, programas que han sido desarrollados en forma extensiva, pero aún insuficiente dada la magnitud del número de localidades. En el caso de las fosas húmedas, con frecuencia el efluente de estas unidades sin tratamiento posterior, escurre hacia pequeñas parcelas o zonas de infiltración natural y, en muchos casos, termina por descargar en arroyos u otros cuerpos receptores naturales donde con frecuencia da origen a diversos problemas y malos olores, situación que requiere ser solventada dentro de los planes de saneamiento.

Sistemas de tratamiento de aguas residuales

La población rural que cuenta con red de alcantarillado requiere que sus aguas se colecten y conduzcan a sistemas de tratamiento completos en comparación con el que representan las fosas sépticas. En pequeñas localidades que cuentan con red de alcantarillado la disposición que más se practica es:

- La descarga de las aguas residuales a hondonadas o accidentes topográficos naturales donde el agua se infiltra,

evapora y/o escurre causando malos olores y la presencia de vectores dañinos.

- La descarga a diversos cuerpos de agua naturales, donde se produce contaminación además de limitar los usos del agua y ser potencialmente una fuente de enfermedades gastrointestinales.

En México, a través del Programa para la Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento de Comunidades Rurales (PROSSAPYS), hasta el año 2010, se habían construido 291 pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales, con una capacidad total instalada de 996.2 l/s, que tratan un caudal de 591 l/s de aguas residuales. La capacidad individual de tratamiento de estas plantas varía de 0.2 a 11 l/s.

Alternativas de tratamiento de aguas residuales para el saneamiento rural

Por lo anterior, es necesario contar con más alternativas de procesos de tratamiento de bajo costo de inversión, operación y mantenimiento, lo que permitirá ampliar la cobertura del servicio de tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades que cuentan con red de alcantarillado, situación en la cual es conveniente aprovechar las experiencias tecnológicas de otros países más avanzados, como Japón.

En Japón se han desarrollado y mejorado diversos sistemas de tratamiento como el método de zanjas de infiltración o de lixiviación capilar, como proceso complementario para tratar los efluentes de las fosas sépticas, con lo cual se podrán disponer higiénicamente las aguas tratadas, así como la tecnología simplificada del Dooyo Yookasoo, proceso que es una variante del proceso de lodos activados por contacto fijo sumergido con el cual se mejora el proceso de tratamiento, se simplifica la operación y se obtienen efluentes de alta calidad, para su reuso, intercambio o disposición.

Estos procesos son alternativos para mejorar la calidad de las aguas residuales de pequeñas localidades, por lo cual es necesario estudiar a mayor detalle estas tecnologías para su implementación. Es por ello que la Gerencia de Potabilización y Tratamiento de la Conagua y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) conjuntaron esfuerzos para desarrollar el presente manual, así como para elaborar el proyecto para construir, al menos, una planta piloto a fin de explorar y definir el potencial de aplicación de la tecnología de tratamiento y coadyuvar en el tratamiento de las aguas residuales de comunidades rurales.

1 Zanjas de infiltración o de lixiviación capilar

1.1 Características del proceso

El método por zanja de lixiviación capilar consiste en promover el contacto entre un flujo no saturado de agua residual con la capa superficial del suelo, donde la actividad biótica es altamente activa, para oxidar y degradar la materia orgánica. Este método fue desarrollado por el Dr. Tadashi Niimi, de 1955 a 1965; recientemente, las zanjas de infiltración o de lixiviación capilar han tenido diversas aplicaciones, como son: tratamiento del agua residual doméstica para pulir el agua, y tratamiento para remoción de fósforo y nitrógeno, donde la pre-

misa del proceso es que el efluente no tiene una salida visible o superficial.

Para el tratamiento de las aguas residuales domésticas generadas en pequeñas comunidades de países occidentales, en forma tradicional, se han utilizado sistemas de tratamiento que incluyen una fosa séptica y un campo conformado por zanjas de infiltración, (figura No.1); éstas unidades también han sido utilizadas en forma individual, por lo cual el uso de las zanjas de infiltración no es nuevo.

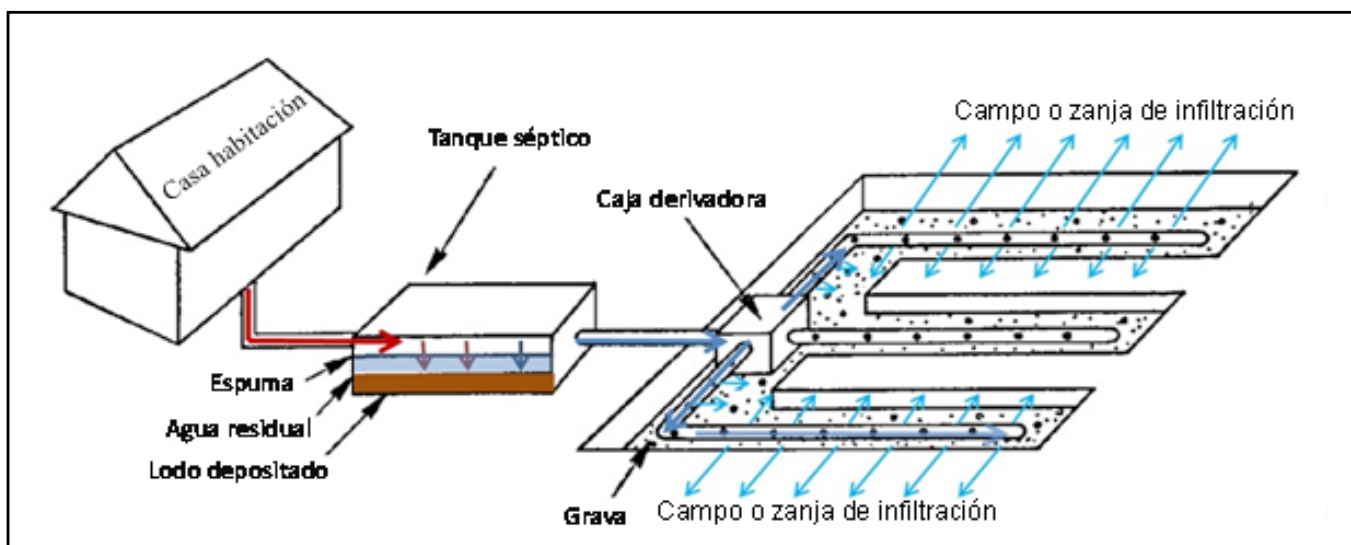


Figura No.1 Sistema de tratamiento a base de zanjas de infiltración o de lixiviación capilar Tipo Niimi

La estructura o componentes básicos de las zanjas de infiltración o de lixiviación capilar se muestran en la figura No.2. La zanja No. 1, Tipo Niimi, es el modelo más común en Japón, ya que permite el tratamiento de las aguas residuales aprovechando la capacidad de depuración del suelo; con ciertas innovaciones se contrarrestan problemas como obstrucciones o taponamientos que generalmente se presentan en las zanjas occidentales. Un esquema semejante, pero con un lecho filtrante a base de grava, es el de la zanja No.2 ó Tipo Normal que se utiliza para llevar a cabo la desnitrificación del agua residual, proceso que se ha usado en México y en otros países occidentales; estas zanjas es otra alternativa de tratamiento de bajo costo. La zanja No. 3, que tiene una estructura más simple, se utiliza para disponer aguas pluviales.

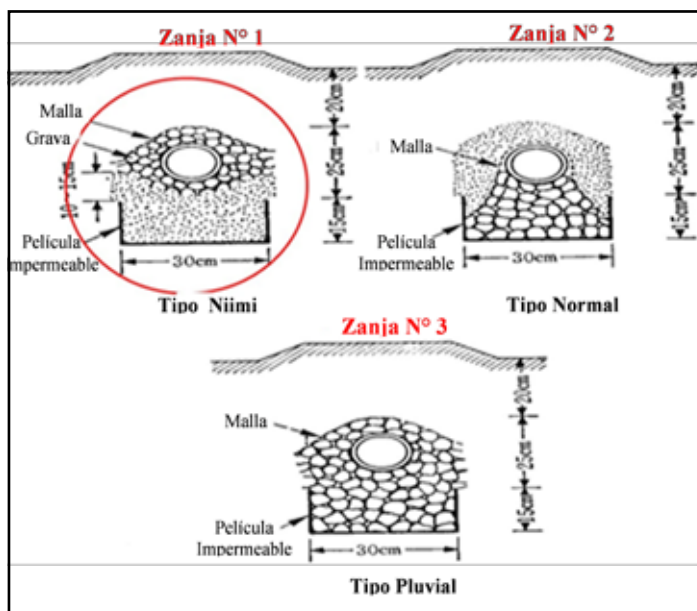


Figura No. 2 Estructura de las zanjas de infiltración

1.1.1 Componentes básicos

a. Película impermeable, para formar el canal de distribución longitudinal

La característica más importante del método por zanjas de infiltración o de lixiviación capilar no es la infiltración del agua residual por gravedad, sino la infiltración al suelo por flujo negativo y flujo no saturado por capilaridad sifónica. Este mecanismo se presenta al conformar un canal longitudinal impermeable, construido con material plástico como el PAD con 30 cm de ancho y paredes laterales de 15 cm de alto, lleno con arena de río. Este canal va instalado en el fondo de la zanja, por debajo de la tubería de conducción y distribución, situación por la cual el agua fluye hacia este, lo llena para posteriormente ascender por las paredes del canal, por efecto capilar y gradiente hidráulico, (figura Núm. 3 y Núm. 4).

b. Distribuidor, para conducir uniforme y equitativamente el agua residual en las zanjas

Usualmente, la longitud máxima de una zanja y su tubería de conducción y distribución es de 20 m, con ello el agua residual de alimentación se distribuye uniformemente a lo largo de la zanja y la infiltración es adecuada, la cual se lleva a cabo por acción de la gravedad. Cuando la longitud de la tubería es del orden de los 50 m, el agua residual influente debe ser alimentada e impulsada, por el interior de la tubería, ya sea en forma neumática o mediante la utilización de una bomba. Entre más larga sea una zanja y su tubería, la distribución del agua, a lo largo de ella así como entre todas las zanjas, se hace más problemática e ineficiente, lo cual influye en el funcionamiento y eficiencia del sistema. En las zanjas de infiltración o lixiviación capilar del tipo Niimi, la tubería que conduce y distribuye el agua residual de alimentación, mediante orificios o cortes, está rodeada por una capa de grava de 25 cm de espesor, a través de la cual el agua fluye hasta la arena que le subyace y hacia el canal de distribución longitudinal de material plástico impermeable que contiene arena.

En las zanjas de infiltración, el problema de la distribución inadecuada del agua del influente se resuelve mediante la conformación e instalación de canales impermeables como el antes mencionado; donde una vez que el agua residual llega, llena y rebosa el canal, ésta fluye y se infiltra a través de las paredes laterales y plantilla de la zanja, trayecto donde se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica del agua residual. Los canales deben ser nivelados con respecto al fondo o plantilla de la zanja.

c. Alimentación intermitente del agua residual a la zanja e inclusión de una zanja de reserva

Una forma de prevenir eficientemente las obstrucciones de la zanja, es mediante la alimentación intermitente del agua residual, lo cual se puede realizar utilizando equipos de bombeo. Sin embargo, en las instalaciones pequeñas para uso doméstico, no se recomienda el uso de bombas ya que el nivel del agua fluctúa a intervalos en las zanjas y pone en peligro la infiltración del agua residual a través del suelo. La fluctuación

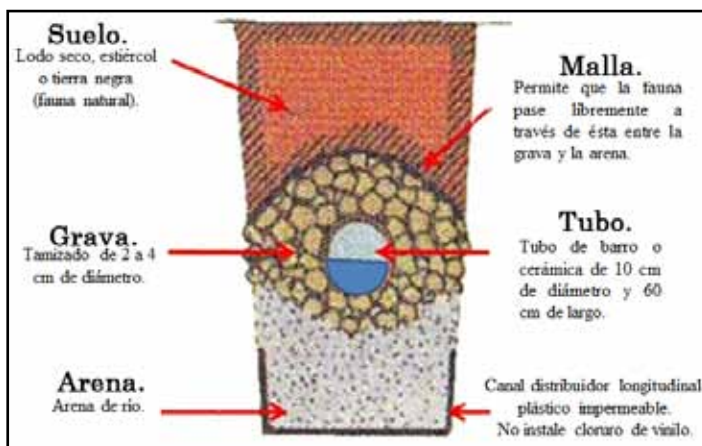


Figura No. 3 Estructura general de la zanja de lixiviación capilar

del nivel del agua y la provisión intermitente del agua residual, dificulta el desarrollo y complica la actividad de los microorganismos tanto en la parte interna como en la parte externa de la zanja. La presencia de un gran número de diferentes microorganismos hace más efectiva la purificación del agua residual, lo cual ha sido probado, y minimiza la obstrucción de las zanjas. Como una medida para la operación intermitente de la unidad, es recomendable contar con una zanja de reserva que permita alternar su operación, para restaurar la capacidad de infiltración y de funcionamiento de la zanja, al volver a operar los periodos de operación pueden ser de 6 a 12 meses.

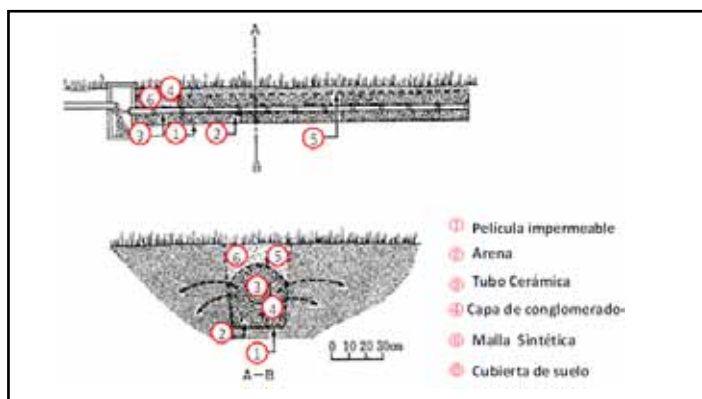


Figura No. 4 Componentes de la zanja de infiltración, tipo Niimi

1.2 Diseño

Los ingenieros e investigadores que han hecho esfuerzos serios en la investigación y desarrollo de las zanjas de infiltración o de lixiviación capilar, consideran que “el proceso de purificación a través del suelo es un método que termina con las zanjas de lixiviación capilar”.

Los conceptos para el diseño de las zanjas de infiltración o de lixiviación capilar son los siguientes:

a. Cálculo del flujo o gasto de agua residual a tratar, (Q)

Es importante determinar con precisión, el flujo o gasto de agua residual cuando son diseñadas las instalaciones de tratamiento. Se debe tener especial cuidado en las zonas donde no haya sistema de suministro de agua potable y las casas usen pozos, por la posible infiltración del agua tratada a las fuentes de abastecimiento.

Para el cálculo del gasto de agua residual generada (Q), se considera la dotación de agua potable por habitante por día (D), la cual varía de 150 a 200 l/h/d, el número de habitantes a servir (h) y el uso consuntivo o coeficiente de aportación (Ca), que puede variar de 0.70 a 0.80, tal como se señala en la siguiente ecuación:

$$Q = D \times h \times Ca \times 10^{-3}$$

Donde:

Q: gasto o caudal de agua a tratar, (m³/d)
D: Dotación de agua potable *per cápita*,
(150 a 200 l/hab/d).
h: Número de personas a servir, (habitantes)
Ca: coeficiente de aportación, (%)

Cabe mencionar que la dotación podría ser menor, del orden de 80 a 150 l/h/d, para localidades del tipo rural en México. En el caso de que el número de miembros de una familia sea menor a 5 personas, el diseño del tratamiento objetivo se calcula como mínimo para 5 personas.

b. Carga hidráulica aplicada (q_a), por metro de zanja de infiltración o lixiviación capilar

q_a: Carga aplicada de agua en zanjas, 0.10 m³/d – m de zanja.

c. Cálculo de la longitud (L) requerida de la zanja de infiltración o de lixiviación capilar

La longitud requerida de zanja (en metros), se calcula dividiendo el gasto de agua a tratar (Q) entre la carga hidráulica aplicada (q_a) por metro de zanja y multiplicando por dos (2), como se observa en la siguiente ecuación:

$$L = \frac{Q}{q_a} \times 2$$

Donde:

L: Largo de la zanja (m)
Q: gasto o caudal de agua a tratar, (m³/d)
q_a: Carga aplicada de agua en zanjas,
0.10 m³/d – m de zanja.

En el proceso de tratamiento a través del suelo, la medida para contrarrestar la obstrucción (para prevenir y reparar la obstrucción) es usar zanjas de manera alternada. En el caso de las instalaciones de tratamiento de casas familiares, la longitud de la zanja por casa debe de ser de más de 10 m en dos zanjas, una en operación y otra en reserva.

1.3 Selección del sitio

Para la instalación de las zanjas es importante la selección del sitio, por lo cual se deben evitar:

- Sitios someros
- Sitios donde se estanca el agua superficial
- Sitios con sombra y que tienen mucha humedad,
- Sitios con nivel alto de agua subterránea (freático) y donde no crece el pasto.

a. Nivel del agua subterránea y condición de drenaje

Se debe evitar la utilización de predios con nivel freático alto o muy superficial, tampoco los que tienen malas condiciones de drenaje. Es recomendable que el nivel freático del agua subterránea esté 1.5 m por debajo de la superficie del terreno.

Si el lugar o sitio de construcción es de terrenos someros, es necesario tomar en cuenta la variación del nivel freático del agua con el cambio de las estaciones.

b. Condiciones por la intensidad solar

A pesar de que el proceso de la zanja de infiltración o de lixiviación capilar no depende de la evaporación del agua, es conveniente que el sitio seleccionado tenga buenas condiciones de insolación o de exposición al sol. Si el sitio para la zanja se encuentra expuesto al sol, la presión de succión capilar se acelera cuando se va secando alrededor del área de la zanja. Las plantas generalmente crecen bien en lugares donde hay mucho sol y en sitios donde se dan las raíces profundas, las condiciones de drenaje y propiedades de aireación del suelo son buenas y, por consecuencia, la actividad de los microorganismos del suelo es alta y adecuada para la biodegradación de la materia orgánica del agua residual de alimentación.

c. Vegetación alrededor de las zanjas

Poca vegetación, encima y alrededor de la instalación, ocasiona que las zanjas de infiltración no funcionen adecuadamente, por lo que es recomendable que los sitios o predios donde se construirán estas unidades cuenten con vegetación abundante; se deberá vigilar y controlar que la vegetación no crezca en exceso ya que se pueden presentar efectos adversos, si existen plantas con tallos subterráneos fuertes como el carrizo, los cuales pueden penetrar las tuberías y bloquear el flujo del agua haciendo deficiente el funcionamiento del sistema.

1.4 Elementos que integran el proceso

Las zanjas de infiltración o de lixiviación capilar tienen diferentes estructuras, dependiendo del propósito y de las condiciones de los sitios donde se ubiquen. Un corte transversal de una zanja de lixiviación capilar, de las recientemente utilizadas, se muestra en la Figura No. 5.

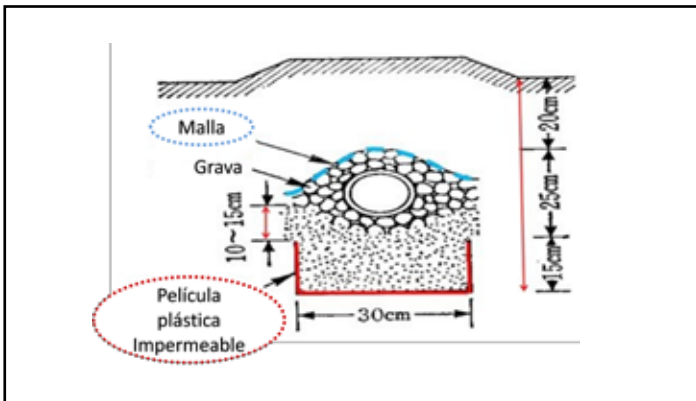


Figura No. 5 Corte transversal de una zanja de infiltración capilar

a. Profundidad de las zanjas

La profundidad estándar de las zanjas varía con la práctica en los diversos países, por ejemplo: 28 a 40 pulgadas (70 a 100 cm) en Alemania; 48 a 60 pulgadas (122 a 152 cm) en Inglaterra; 18 a 24 pulgadas (45 a 60 cm) en Estados Unidos de América; y en México 24 a 40 pulgadas (60 a 100 cm). Comparativamente con estos datos, la profundidad de las zanjas de infiltración o de lixiviación capilar es de 24 pulgadas (60 cm). La materia orgánica de las aguas residuales se descompone al entrar en contacto con los microorganismos del suelo, los que abundan dentro de la capa superficial del suelo y que cubre los primeros 30 cm de éste. La distribución vertical indica una alta densidad de los microorganismos del suelo cuando se aproximan a la superficie y es extremadamente baja en la capa inferior, la cual se encuentra a más de 30 cm de profundidad.

b. Ancho de las zanjas

El ancho de las zanjas en Alemania es de 20 pulgadas (50 cm); en E.U. de América varía de 18 a 24 pulgadas (0.45 a 0.60 m); en México es de 12 a 24 pulgadas (30 a 60 cm); y en Japón (en

instalaciones antiguas) de 20 a 28 pulgadas (50-70 cm); para las zanjas de infiltración o de lixiviación capilar el ancho de la base es de 12 pulgadas (30 cm). En este último caso, la posibilidad de que las paredes laterales de la zanja se obstruyan es menor, no así en el caso de la base, ya que el agua residual se infiltra principalmente por las paredes laterales, por lo cual, en el diseño de las zanjas el objetivo es el de obtener un área más grande en las paredes de los lados que en la base de la zanja.

c. Canal de distribución con membrana o película plástica selladora

La película de sellado se coloca en el fondo de la zanja para bloquear la infiltración del agua por acción de la gravedad, esto mejora la eficiencia de las zanjas de infiltración o de lixiviación capilar. La razón para fijar la altura de las paredes laterales, entre 15 a 20 cm del canal formado con la membrana plástica es para mantener el nivel del agua en 0 cm en este canal distribuidor impermeable, antes de que se alimente nueva agua residual a la unidad. Es decir, el agua residual en los canales se descarga por fuerza capilar. Esta fuerza capilar de empuje depende del tamaño de la partícula del medio filtrante de empaque, (tabla No. 1).

El medio filtrante de empaque más accesible es la arena de río con tamaño de partícula de 0.1 a 1.0 mm. La altura de la capa de suelo arriba de la película de sellado de las paredes laterales se diseña de acuerdo con la capacidad de la elevación del agua por capilaridad.

1.5 Construcción

El diseño y construcción de las zanjas de infiltración o de lixiviación capilar se fundamentan en la zanja Tipo Niimi, éstas se conforman de diversas partes o elementos que al ser construidos deben considerar ciertas especificaciones y cuidados de construcción así como en su equipamiento, para el correcto funcionamiento de las zanjas. Los aspectos constructivos más importantes se describen en forma breve a continuación:

1.5.1 Aspectos a revisar y verificar

a. Excavación de la zanja

Las zanjas de lixiviación capilar deben tener dimensiones predeterminadas de acuerdo con la estructura estándar. Por ejemplo, el ancho estándar es de 30 a 50 cm y la altura es de 50 a 70 cm. La excavación de la zanja debe ser en ángulo recto desde la base o plantilla. Es deseable que la excavación de las zanjas pequeñas sea a mano, observando las propiedades del suelo y del nivel freático, (fotografía No. 1).

En el caso de excavar con máquina, es recomendable terminar las paredes laterales con equipo manual. La base de la zanja debe estar terminada y tener el mismo nivel a todo lo largo, además de no presentar asperezas e imperfecciones visibles, tanto en la plantilla como en las paredes. Las zanjas deben tener acabados rectos, ya sea a lo largo o en profundidad. Cuando se excaven zanjas en paralelo, las tuberías deberán estar separadas, al menos, 2 metros. Es recomendable

Tabla No. 1 Capacidad de la elevación capilar por la calidad del suelo. (Variación por tiempo).

Grano de arena (mm)	Espacio (%)	Elevación del agua por efecto capilar (mm) con respecto al tiempo								
		5 min	35 min	1 día	2 días	4 días	8 días	18 días	30 días	72 días
5 ~ 2.00	40.1	12	15	22	---	---	---	---	---	---
2 ~ 1.00	40.4	33	37	54	60	65	---	---	---	---
1 ~ 0.50	41.8	70	70	115	123	131	---	---	---	---
0.5 ~ 0.20	40.5	115	150	214	230	237	246	---	---	---
0.2 ~ 0.10	40.4	105	265	376	396	411	428	---	---	---
~ 0.05	41.0	---	---	530	574	629	850	966	1000	1055
~ 0.02	41.0	---	---	1153	1360	1531	1657	1774	---	---
~ 0.01	42.3	---	---	485	922	1536	1933	2093	2447	---
~ 0.005	42.3	---	---	285	---	---	---	---	---	---
	---	---	---	143	---	---	---	---	---	---
~ 0.001	---	---	---	55	---	---	---	---	---	---

Akiba Masuji: Método nuevo de medición de la capilaridad del suelo y ejemplos.

contar con una zanja de reserva, con la cual se puede alternar la operación, en particular cuando alguna zanja presenta una reducción sensible en cuanto a su capacidad de infiltración.



Fotografía No. 1 Características de la excavación de la zanja

ni acostarse. No deben dejarse espacios abiertos entre las membranas. Se recomienda que la geomembrana sea de material resistente como Polietileno de Alta Densidad (PAD) con alta resistencia a la biodegradación, con espesor de 0.39 mm a 0.79 mm, (1/32").



Fotografía No. 2 Instalación de película plástica

b. Relleno de la zanja

En la excavación de la zanja se debe dejar un claro de 15 cm de altura y 30 a 40 cm de ancho a todo lo largo de la zanja (ver figura No. 5, y fotografías No. 1 y No. 2), donde se colocará la película plástica o geomembrana para conformar el canal de distribución cuyas paredes laterales y plantilla deberán estar bien nivelados con respecto al fondo de la zanja, la que deberá estar cimentada. El canal podrá tener una longitud de 10 o más metros, dependiendo de la magnitud de la obra. La película plástica no debe curvarse hacia adentro ni hacia afuera,

Relleno con la arena capilar. Después de que se conformó el canal de distribución con la geomembrana, éste debe llenarse hasta 10 a 15 cm por encima del borde de las paredes laterales (ver figura No. 5 y fotografía No. 3), con arena de río o de banco, tipo silica o de cuarzo, con diámetros de 0.1 a 1 mm, la cual debe ser previamente lavada y estar libre de material extraño e impurezas como basura o tierra, posteriormente se debe cimentar la base agregando agua.



Fotografía No. 3 Relleno de zanja con arena

Instalación de la primera capa de grava capilar, de 5 a 10 cm, prelavada con tamaño de 20 a 40 mm y 25 cm de espesor total, (ver figura No. 5). Esta primera capa de grava será colocada encima de la arena; la colocación deberá ser hecha a mano, ya que encima de ésta se colocará la tubería de alimentación y distribución de agua residual de alimentación.

Instalación y ensamble de la tubería (tubería de barro vitrificado u otro material resistente) sin conexiones, a nivel con pendiente cero (ver fotografía No. 4). La no inclusión de accesorios de sellado, entre tramos de tubos, permite que el agua residual escape por estos y sea distribuida a lo largo de toda la zanja. El extremo opuesto y más lejano de la tubería se sella, ya sea con una tapa ciega o con mortero.



Fotografía No. 4 Instalación de primera capa de grava y colocación de tubería

Relleno final de la tubería con grava capilar, hasta alcanzar un espesor total de 25 cm. Se debe asegurar que la superficie final de la capa de grava tenga forma de montículo cóncavo, (figura No. 5, y fotografía No. 5). Esta estructura cóncava es vital para eliminar la infiltración del agua que proviene de la superficie del suelo, y es un principio general el cual es comúnmente aplicado a las instalaciones de tratamiento por suelo.



Fotografía No. 5 Instalación de la segunda capa de grava

Cubrir la grava con la malla de 1 a 2 mm de claro; poner atención en las áreas de unión con las paredes laterales. La malla utilizada es de material plástico de Polietileno de Alta Densidad (PAD), de poliestireno o, también, pueden utilizarse mallas plásticas empleadas en la construcción de invernaderos, entre otros, (fotografía No. 6).



Fotografía No. 6 Instalación de malla en forma cóncava

Llenar la zanja con suelo local que permita una buena aireación de la zanja. Terminó de obra (fotografía No. 7).



Fotografía No. 7 Vista de zanja de filtración terminada

1.5.2 Materiales de construcción

En el proceso de tratamiento por suelo se debe evitar el uso de materiales no naturales, promover la utilización de materiales locales y tomar ventaja del clima.

a. Suelos empleados para una buena ventilación o aireación

Se recomienda como suelo la tierra de cultivo (madura), la cual puede estar disponible en el sitio de la zanja; sin embargo, puede emplearse suelo volcánico, usualmente mejorado mezclándolo con composta.

Para que exista una buena aireación en la zanja se requiere que el suelo a emplear tenga varias propiedades incluyendo permeabilidad. Las aguas residuales y el olor que producen necesitan pasar a través del suelo moderadamente. Cuando las partículas de suelo son más pequeñas, el agua residual y el olor pasan suavemente; sin embargo, las sustancias como el amoníaco deben ser adsorbidos por las partículas de suelo. Cuando las partículas finas se van haciendo más pequeñas, la habilidad de adsorción se incrementa, pero una gran cantidad de partículas finas hace que las propiedades de permeabilidad y aireación disminuyan. El porcentaje del contenido de humedad es mayor con la lluvia, por lo que la fuga de olor que ocurre de la resistencia de flujo de aire debe ser prevenida. Por otra parte, el suelo cuando está seco, no puede retener el agua y también es inapropiado. Adicionalmente, el suelo para la aireación debe tener la habilidad de promover la oxidación y la degradación de los materiales adsorbidos. Los microorganismos del suelo promueven la oxidación y degradación y tienen la capacidad de promover la bioactivación en pH y materia orgánica. El suelo que cumple con estas características es el suelo maduro de cultivo que contiene estructuras agregadas.

b. Redes o mallas capilares

Las mallas capilares se utilizan para prevenir o reducir la caída del suelo sobre la grava; también son utilizadas para prevenir el movimiento de los insectos medianos del suelo. Se utiliza una malla de 1 a 2 mm de claro.

c. Empaque de grava capilar

Para efluentes de fosas sépticas se utiliza la piedra volcánica la cual es porosa, de 20 a 40 mm de diámetro.

d. Tubería de conducción y distribución de aguas residuales

La tubería esmaltada (tubería de barro) es la mejor entre la tubería de drenaje, porque la tubería esmaltada se desgasta menos con los ácidos y bases fuertes y no se obstruye como la tubería vinílica, generalmente, se utiliza tubería de 4 pulgadas (100 mm) de diámetro y 60 cm de longitud.

e. Arena capilar

En el caso de efluentes de fosas sépticas la escoria es utilizada. En el tratamiento de aguas grises la arena de río es la más utilizada.

f. Película selladora

Se recomienda utilizar películas de resinas sintéticas (de polietileno y no de vinil).

Hay productos estándar para las mallas capilares y para las películas selladoras, pero otros materiales pueden ser utilizados, lo que se encuentre disponible en la zona.

g. Estructuras de partículas simples y agregadas

La estructura de partícula simple es un estado estructural donde las partículas del suelo (por ejemplo arena, limo y arcilla) existen como partículas sueltas en la capa de suelo, mientras que la estructura agregada, es el estado estructural donde las partículas del suelo forman agregados o conglomerados.

La estructura agregada de suelo es adecuada para la vegetación, porque los espacios entre las partículas permiten que el agua y aire permanezca, ayudando a la retención del agua.

El suelo con estructura agregada contribuye a las actividades microbianas, especialmente de los hongos, los cuales producen hifas y de las bacterias que forman colonias, degradando la materia orgánica. También los desechos de las sustancias excretoras de lombrices son apropiados para los suelos agregados.

1.5.3 Recomendaciones durante la etapa de construcción

Durante la construcción se debe tener cuidado de no dañar la estructura del suelo de los alrededores y de encima de las zanjas. En cuanto al suelo volcánico, la permeabilidad y las propiedades de aireación disminuyen con el tiempo después de la construcción.

Se debe evitar la construcción de las zanjas durante la época de lluvias o después de que se hayan presentado fenómenos naturales. La colocación del suelo debe hacerse firmemente, y poner atención a la compactación de la superficie cuando se empleen equipos pesados. Hay casos en donde se empeora la condición del sitio de la instalación cuando utilizan bulldozers.

Se deben realizar estudios preliminares del sitio de construcción con relación al montículo y al relleno; de acuerdo a las circunstancias, tal vez se requiera romper el subsuelo y colocar suelo mejorado en todo el sitio.

A pesar de la mala permeabilidad, hay sitios de construcción donde se utiliza suelo mejorado para rellenar las zanjas. Como el agua capilar se mueve hacia la derecha y hacia la izquierda, no funciona bien si las propiedades de permeabilidad, aireación y bioactividad son bajas.

Es deseable hacer todo el esfuerzo para que crezca pasto verde, hacer un jardín y poner flores locales en los sitios de las instalaciones.

Los sitios no deben ser cubiertos con concreto ni asfalto, así como evitar tener los sitios sin cubierta.

1.6 Aspectos operativos y de mantenimiento

Las zanjas de lixiviación capilar tienen alta capacidad de remoción de DBO, DQO, SS, P_T , $N-NH_3$, coliformes, y bacterias

comunes. Sin embargo, el nivel de remoción se debe a la capacidad ecológica del suelo dentro y alrededor de las zanjas y no puede ser controlada por el ser humano. Estas son las razones por las que hay que poner la máxima atención cuando se diseñan y construyen las zanjas de lixiviación capilar.

La capacidad de remoción de las zanjas de lixiviación capilar ha sido probada y se ha determinado que funciona eficientemente con altas concentraciones de DBO en el agua residual. Las zanjas se utilizan para tratar aguas residuales domésticas; sin embargo, se pueden utilizar para otro tipo de agua residual. La remoción del nitrógeno total (N_T) es difícil, la remoción en una zanja normal se estima en 50%. El nitrógeno amoniacal ($N-NH_3$) cambia inmediatamente a nitrógeno de nitratos y se infiltra al agua subterránea.

El reto más grande en la operación de la zanja de lixiviación capilar es la aplicación de medidas contra la obstrucción. A pesar de que un par de zanjas es suficiente, la alimentación del flujo cambia todo el tiempo, por lo tanto, "Las zanjas se obstruirán", es un principio general.

El agua es una sustancia primordial para la actividad fotosintética que ocurre en las plantas verdes. El agua es utilizada en muchos procesos de reacción que producen energía para la planta, azúcares y desprenden oxígeno y agua a través de la evapotranspiración.

Las variedades vegetales plantadas encima de las zanjas de lixiviación capilar crecen bien, porque las zanjas operan como un sistema subterráneo de riego. Desde el punto de vista de la zanja, la asimilación de agua por las raíces induce al agua a subir y aumenta el efecto sanitario. Al mismo tiempo el agua asimilada por la vegetación reduce el agua que se infiltra al subsuelo. En áreas sin vegetación, en época de lluvia, el agua corre por la superficie sin infiltrar debido a la falta de vegetación. Adicionalmente, se debe poner atención en el balance hidrológico el cual varía entre las estaciones del año.

El estancamiento del agua residual por obstrucción de la zanja provoca un desbalance en el suministro y degradación de la materia orgánica. Como última solución es conveniente la instalación y uso de una zanja extra. El uso alterno de las zanjas es importante como una medida para reparar la obstrucción; sin embargo, la alternancia excesiva causa un efecto indeseable.

La construcción deficiente y el mal funcionamiento de las fosas sépticas que anteceden a las zanjas, causarán que el agua residual se envíe a una zanja extra.

No solo fluye agua residual a las zanjas, también agua de lluvia, del subsuelo y de riego; por lo tanto, la materia orgánica no se descompondrá.

Una solución rápida en una zanja que presenta obstrucción, consiste en descargar rápidamente el agua residual en la zanja y soplar aire al mismo tiempo para reducir la obstrucción de la zanja con materia orgánica.

La obstrucción como la que se describe es causada por los microorganismos anaeróbicos, el lodo, los SS y las raíces de las plantas. Cuando las tuberías se obstruyen, se requieren revisar las instalaciones de pretratamiento, descarga de lodos y limpieza de las tuberías. Para saber si la obstrucción es causada por los microorganismos anaeróbicos o no, los usuarios deben de descubrir el suelo de la zanja hasta las mallas capilares y

revisar y observar si hay estado de reducción color azulado en el suelo, en las mallas y unos milímetros arriba de las mallas.

1.7 Investigación y estudio de organismos presentes en el proceso

1.7.1 La importancia de los organismos del suelo

Un acre de la capa de suelo superior, fértil y viva, contiene aproximadamente 900 libras de lombrices, 2,400 libras de hongos, 1,500 libras de bacterias, 133 libras de protozoarios, 890 libras de artrópodos y algas e incluso a veces pequeños mamíferos, (Pimentel 1995). Por lo tanto, el suelo es considerado como una comunidad viviente más que como un cuerpo inerte.

1.7.2 Organismos que viven en el suelo

La biota del suelo se define como “todos los organismos que viven en el suelo y la relación que existe entre ellos” así como “los organismos que viven temporalmente en el suelo o sobre la tierra”, desde los organismos protozoarios como paramecios hasta los vertebrados mamíferos; los topos y ratones están incluidos en la biota del suelo. Se dice que las clases de organismos del suelo en Japón están en el rango de más de 8 Phylum y 78 Órdenes.

La actividad primaria de los organismos es la de comer materia orgánica natural y degradarla en compuestos más simples a través de su cadena alimenticia. Esta es la manera como la materia orgánica empieza a recircular en la pedósfera, donde empieza a estar activa.

La segunda actividad es la de labrar la tierra. Todos conocen que las lombrices realizan actividades de cultivo en la tierra. Las

hormigas, escarabajos dorados y las cícadas también hacen túneles en la tierra y ellos mezclan y mueven la materia orgánica e inorgánica llevándola con el sustrato mineral de la superficie de la tierra.

Como resultado, las partículas del suelo son agregadas y las actividades de los microorganismos se hacen más activas. Para prevenir el problema de la obstrucción en las zanjas de lixiviación capilar, cambie a la zanja extra, en caso de que este problema ocurra y se normalizará nuevamente.



Fotografía No. 8 Variedad de insectos y gusanos terrestres

2 Sistema Doyoo Yookasoo

2.1 Características del proceso

Es un proceso mixto, de medio fijo y suspendido, que se puede considerar como una variante del proceso de lodos activados, con medio de contacto fijo sumergido aereado, en cuyas unidades se incorpora grava o empaque plástico, donde y con la ayuda de aire inyectado, la zooglea microbiana formada transforma la materia orgánica contaminante, para obtener efluentes de alta calidad y lodos de desecho con mayor grado de estabilización, para su posterior deshidratación y disposición final. El proceso utiliza difusores de aire del tipo burbuja fina, que al estar en contacto con el medio fijo incrementa su tiempo de contacto y eficiencia de oxigenación.

Los tanques e instalaciones quedan confinados bajo tierra, y su cubierta superficial (capa de tierra mejorada) es aprovechada para eliminar malos olores; la superficie que queda en la parte superior del sistema de tratamiento es aprovechada para formar áreas verdes o jardines, lo cual es una novedad.

El paisaje se funde con el entorno de un jardín, de modo que no se distingue como una planta de tratamiento (fotografía No. 9). Comúnmente este tipo de infraestructura se construye lejos de las viviendas; sin embargo, debido a su gran efecto deodorizador, puede ser instalado cerca de las casas habitación.



Fotografía No. 9 Vista de la planta de tratamiento terminada

El proceso es poco conocido en México, no así en Japón donde se ha implementado como una solución al saneamiento de pequeñas comunidades de ese país.

La figura No. 6 representa la relación entre la disposición del medio filtrante y la activación biológica de los microorganismos.



Figura No. 6 Relación entre la disposición del medio filtrante y sus microorganismos

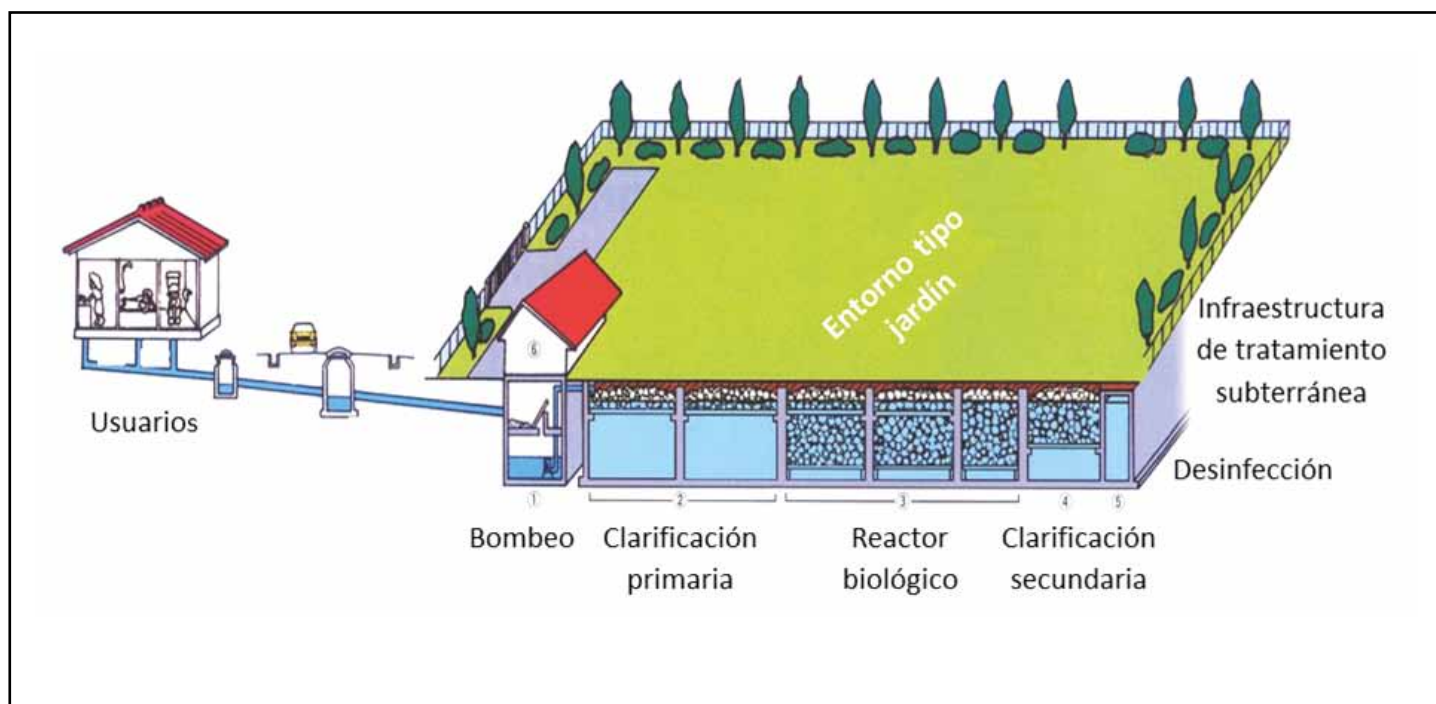
- 1) La fetidez se puede desprender por el espacio entre el concreto y el medio.
- 2) Debido a la capa de filtración extendida sobre la superficie, el mal olor puede presentarse cuando llueve.
- 3) El método del tratamiento de cubierta por medio del suelo con una distancia mayor a 10 cm entre la superficie y el borde del tanque emite olores.
- 4) El método del tratamiento de cubierta por medio del suelo es el óptimo para que haya más crecimiento de microorganismos.

2.2 Ventajas

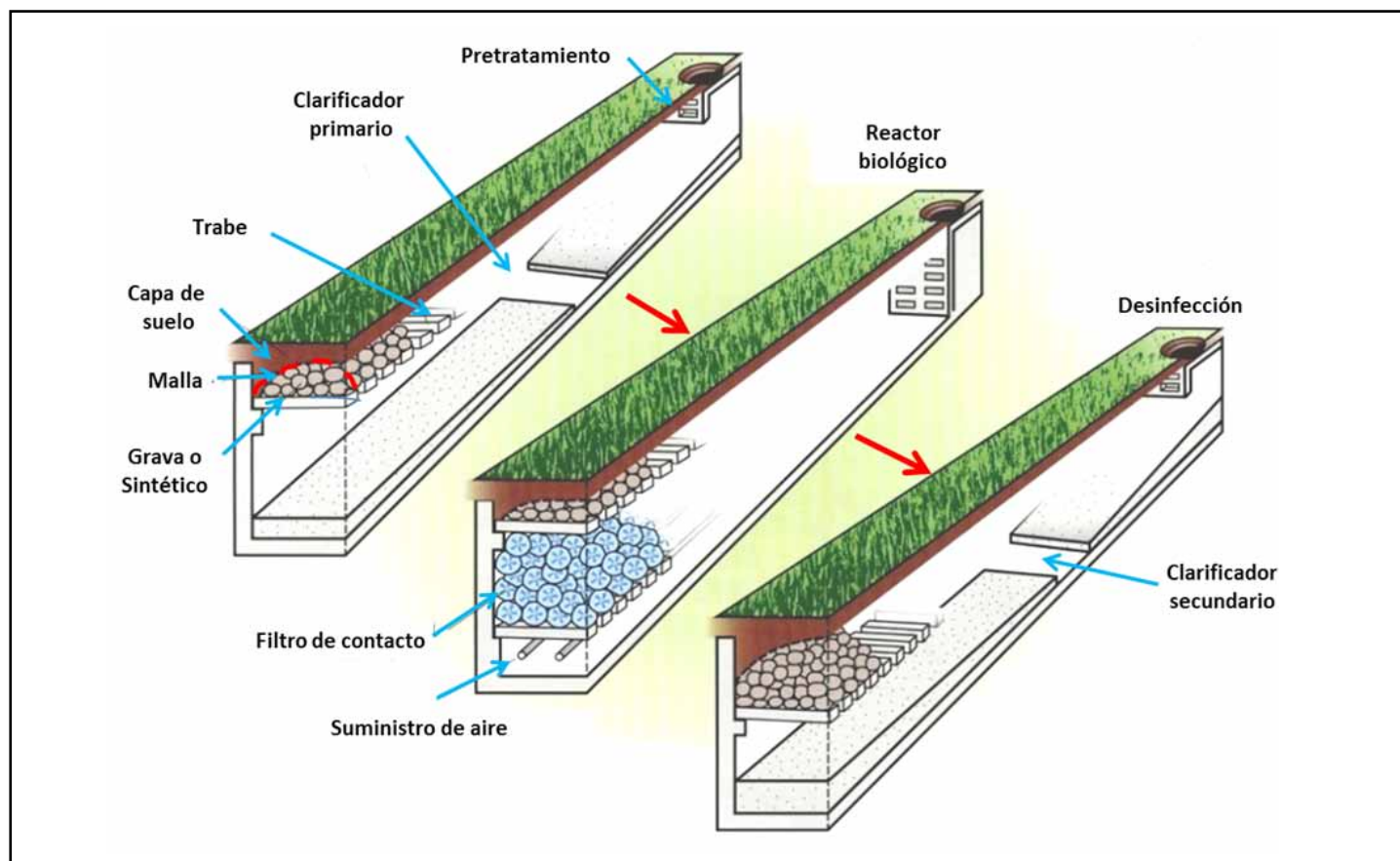
- Operación y mantenimiento poco complicados.
- Reduce la emisión del mal olor, la dispersión de microbios y el ruido molesto.
- No son necesarias instalaciones de deodorización.
- Poca producción de lodos (aproximadamente 60% de lodos en comparación con el sistema de lodos activados).
- La calidad de agua se mantiene estable (responde, adecuadamente, a la variación de carga del agua influente).
- Se puede utilizar el espacio abierto por encima de las instalaciones de la planta.
- La cantidad de energía requerida para eliminar la DBO, igual o menor que en el sistema de lodos activados.

2.3 Diseño

2.3.1 Representación esquemática



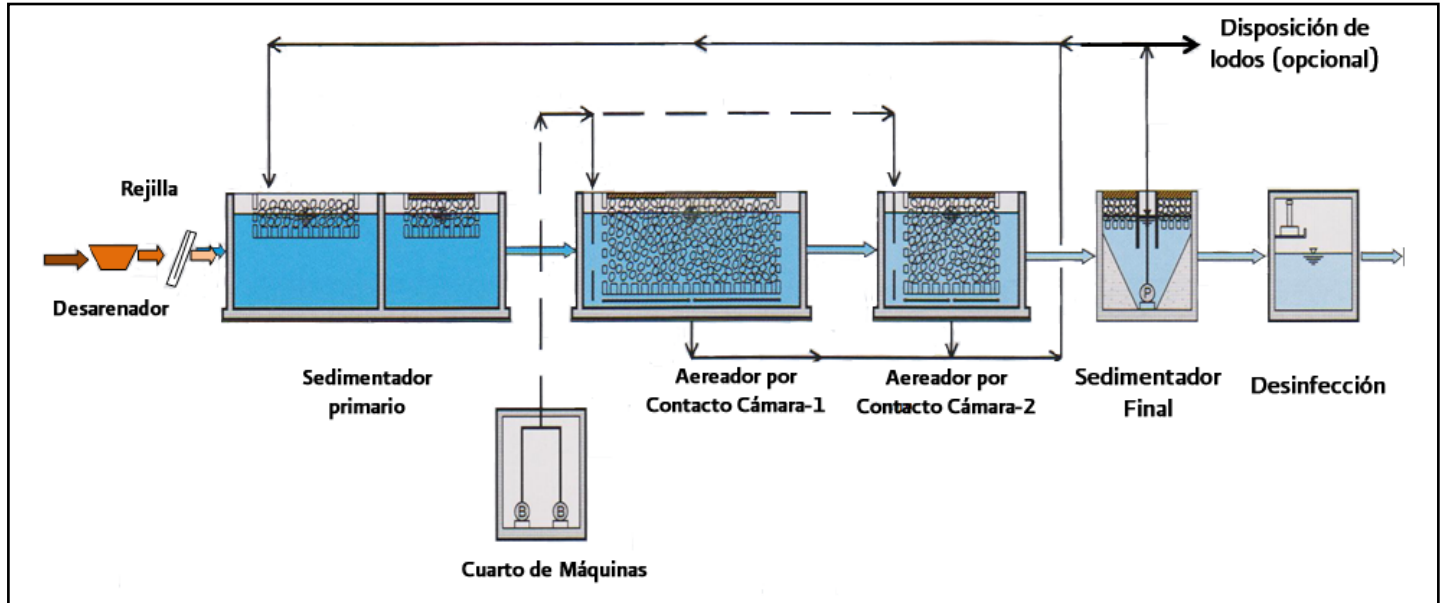
2.3.2 Diagrama general del Proceso



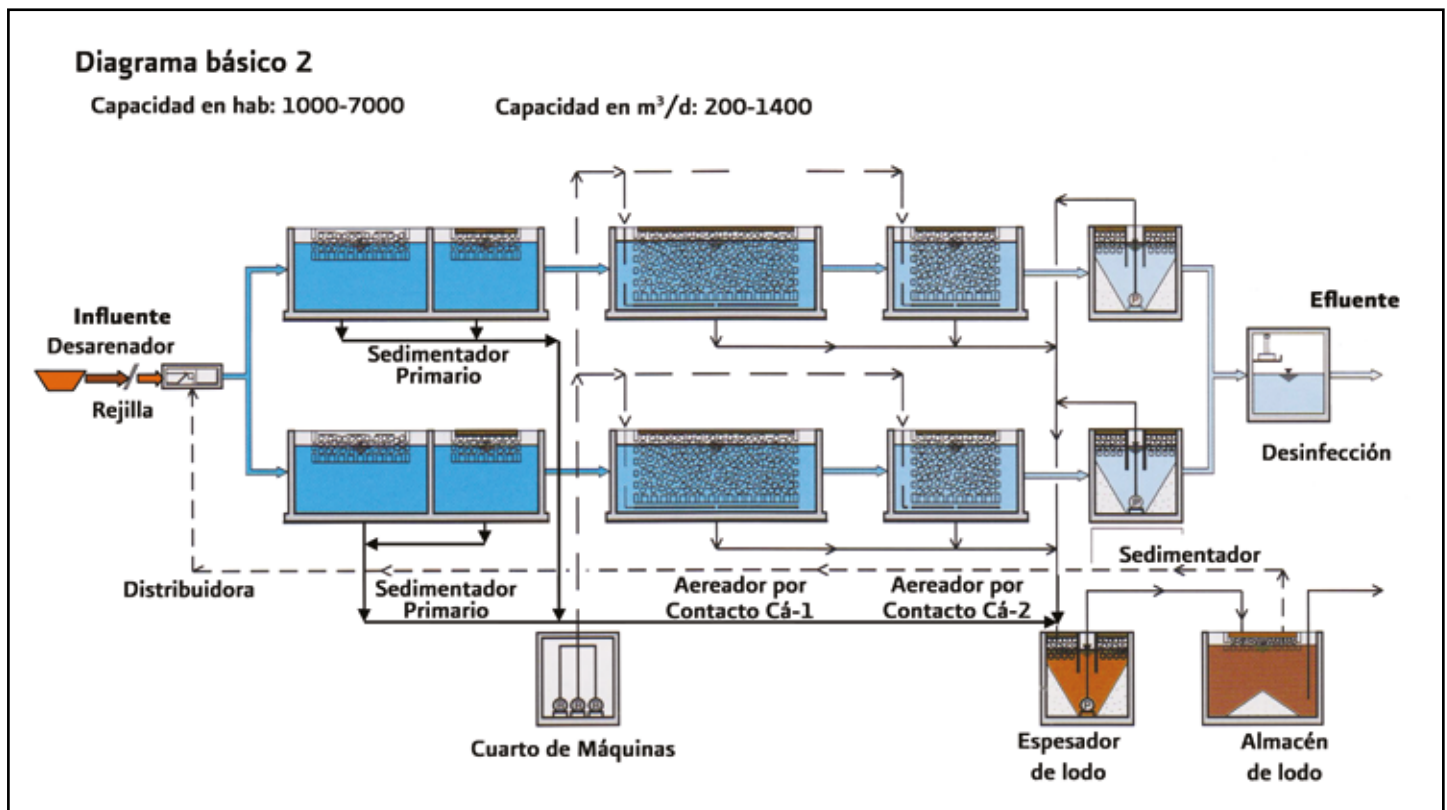
2.3.3 Diagrama de flujo básico

En Japón esta tecnología se ha aplicado con éxito en poblaciones de 50 a 7,000 habitantes, de acuerdo a los siguientes rangos y diagramas:

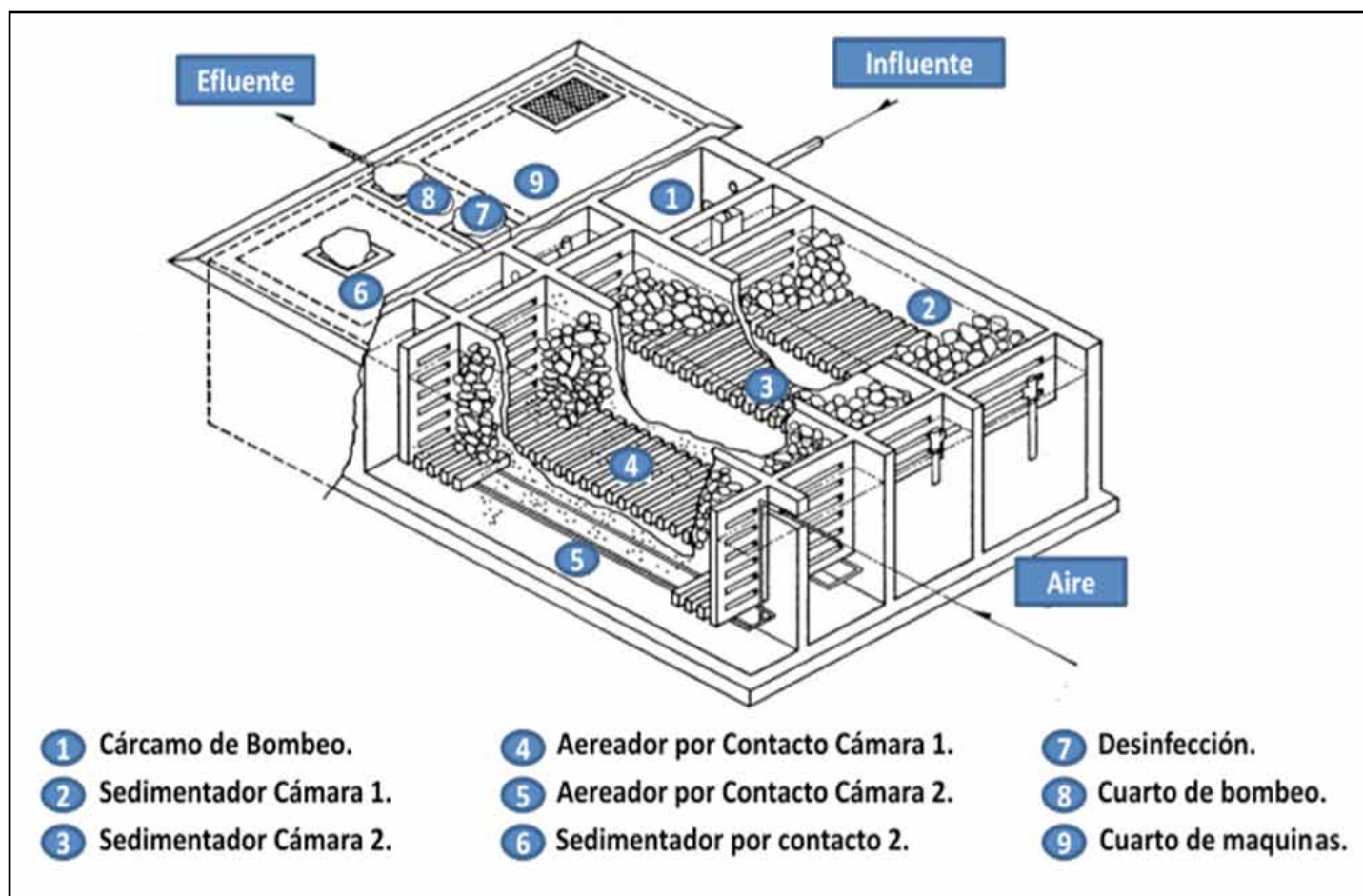
a. Diagrama básico aplicado en localidades hasta de 800 habitantes



b. Diagrama básico aplicado en localidades hasta de 7,000 habitantes



2.3.4 Isométrico



2.3.5 Consideraciones

Del análisis conjunto entre JICA y la Conagua se definieron para la aplicación en México los siguientes rangos:

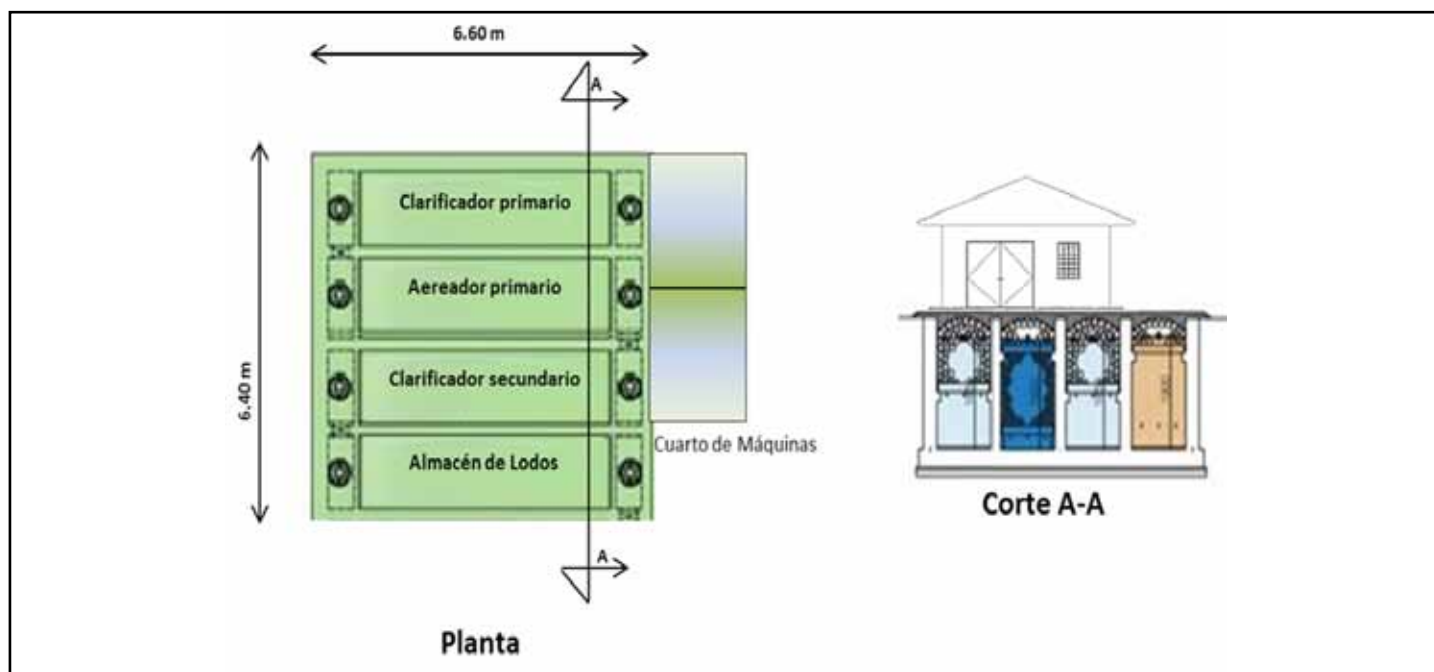
Rango de aplicación	Población (hab)	Capacidad (m ³ /día)	Superficie del proceso (m ²)	Superficie Total (m ²)
1	70 a 300	10 a 45	Hasta 100	Hasta 500
2	301 a 700	46 a 99	Hasta 200	Hasta 900
3	701 a 1,400	100 a 199	Hasta 350	Hasta 1,600
4	1,401 a 5,000	200 a 700	Hasta 1,200	Hasta 4,500
5	5,001 a 10,000	701 a 1,400	Hasta 2,400	Hasta 8,000

2.3.6 Rango de diseño

a. Diseño para capacidad hasta de 45 m³/día

Para el rango de 46 m³/día a 99m³/día se pueden considerar dos módulos paralelos del arreglo presentado.

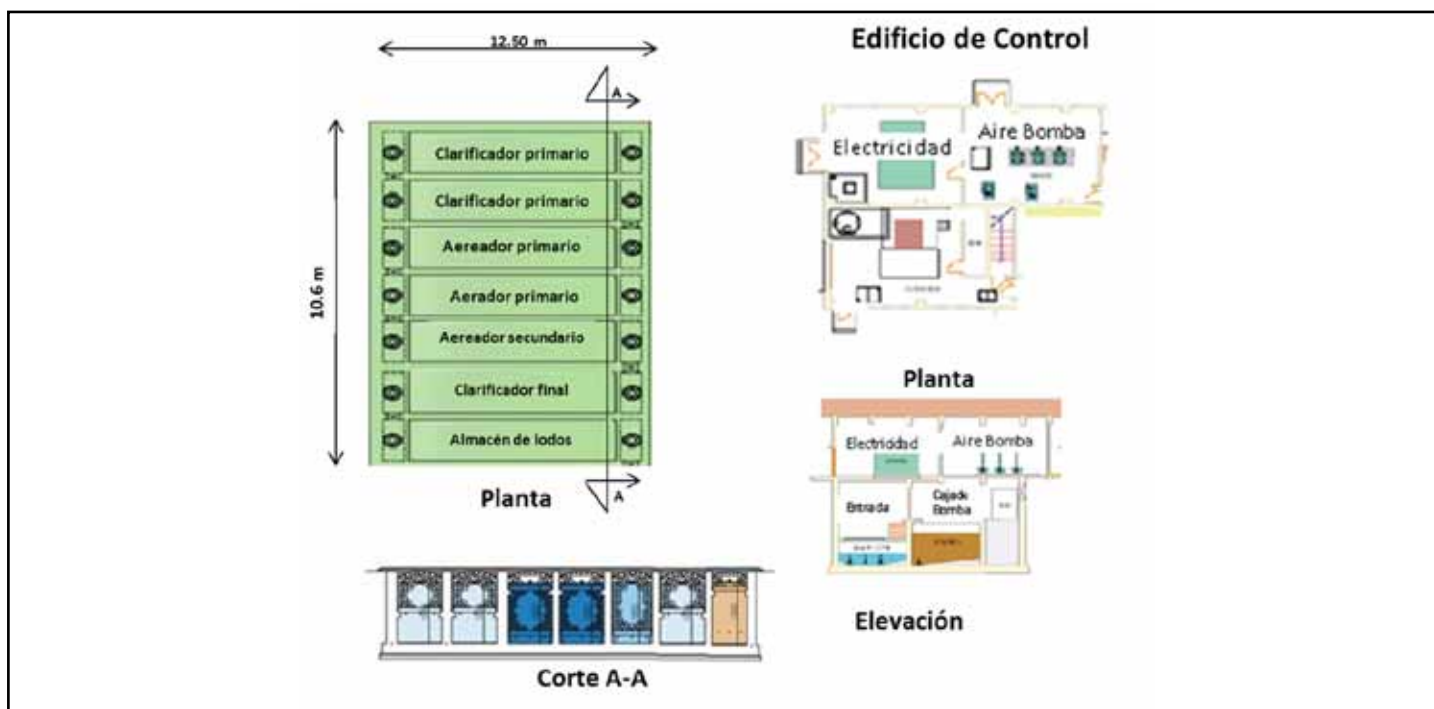
El número de unidades que conforman el arreglo presentado es solamente una recomendación del diseño original japonés, el cual puede modificarse según la forma geométrica del predio disponible para el que se diseñará la planta.



b. Diseño para capacidad hasta de 200 m³/día

El número de unidades que conforman el arreglo presentado es solamente una recomendación del diseño original japonés,

el cual puede modificarse según la forma geométrica del predio disponible para el que se diseñará la planta.

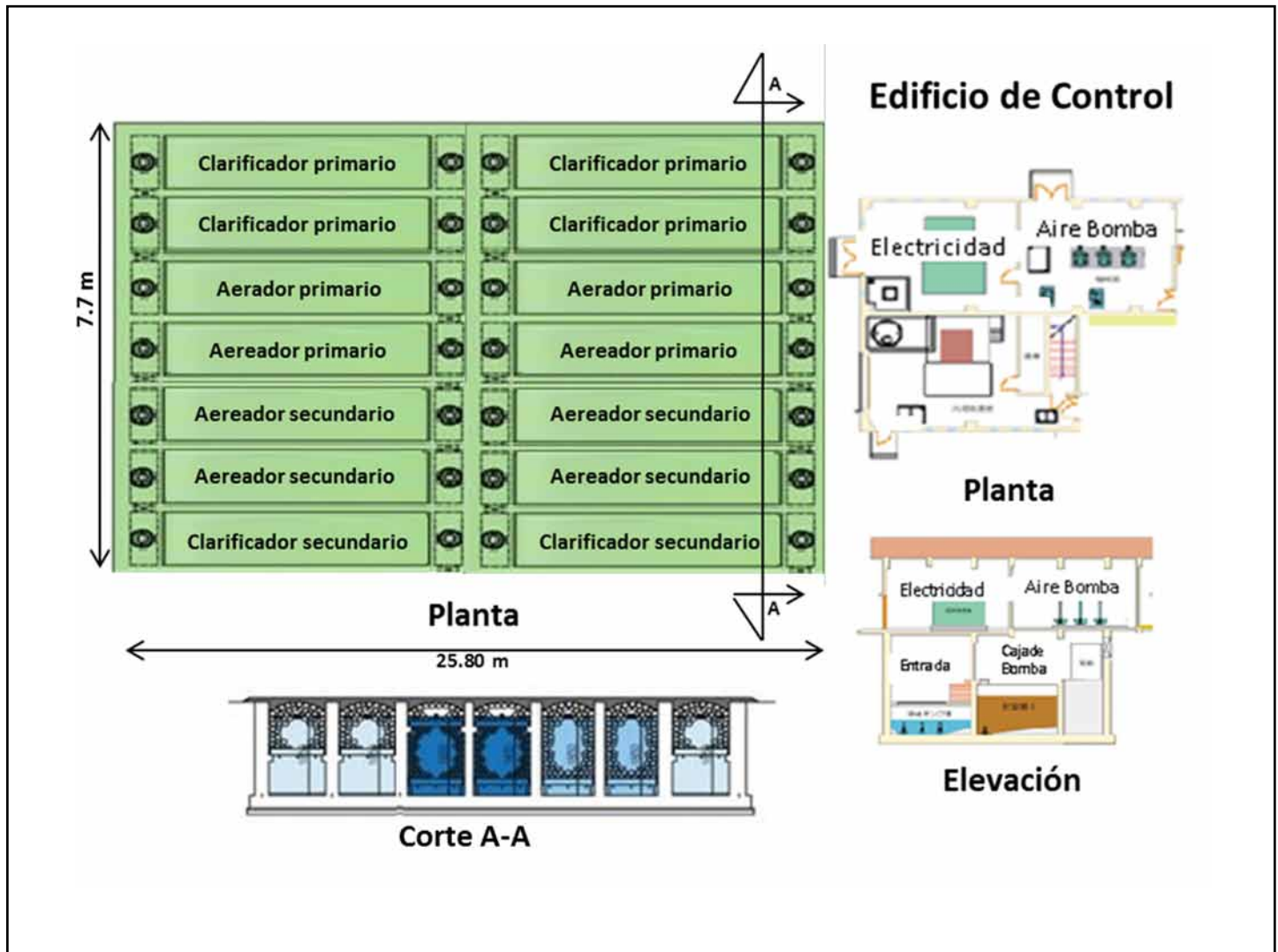


c. Diseño para capacidad hasta de 1,400 m³/día

Para el rango de 200 m³/día a 700m³/día se puede considerar un solo módulo del arreglo presentado.

El número de unidades que conforman el arreglo presentado es solamente una recomendación del diseño ori-

ginal de japonés, el cual puede modificarse según la forma geométrica del predio disponible para el que se diseñará la planta.



2.3.7 Descripción de las unidades del proceso

El sistema de tratamiento, en la línea de agua, está integrado por: pretratamiento, sedimentación primaria; aireación por contacto; sedimentación secundaria y desinfección; y en la línea de lodos, por almacenamiento, recirculación y disposición de lodos.

Las unidades de la planta de tratamiento se colocan en serie y cada una de éstas se diseñan y construyen para tener una capacidad de tratamiento prome-

dio diaria, en metros cúbicos (m³/día). Para caudales mayores el sistema de tratamiento crece modularmente en paralelo.

Todos los tanques van enterrados casi por completo y cubiertos de tierra. El diseño toma en cuenta la conservación del paisaje urbano, la prevención de malos olores y dispersión de microorganismos dañinos.

a. Caja de excedencias

El colector del influente se conecta a esta caja, la cual estará provista de la infraestructura necesaria para desviar el volumen de agua excedente y verterlo al cuerpo receptor más próximo.

b. Pretratamiento

Incluye cribado medio para retener residuos sólidos suspendidos de 1" (2.54 cm) de diámetro; desarenador y medidor proporcional que permite medir el gasto o caudal de agua así como para regular la velocidad entre 20 y 35 cm/seg. El efluente del pretratamiento se descarga a una caja vertedora de donde se distribuye en forma proporcional a cada sedimentador primario.

c. Sedimentador primario

Las aguas residuales efluentes del pretratamiento alimentan al tanque de sedimentación primaria, el que puede estar dividido de una a tres cámaras de diferentes tamaños que operan en serie y cuyo tiempo de retención total es del orden de 16 a 24 horas. En estas se remueve del 50 al 75% de los sólidos suspendidos y del 20 al 40% de la materia orgánica representada por DBO.

Cuenta con un falso fondo que sirve para sostener en la parte superior un empaque de grava que sirve de soporte a la malla sintética sobre la que descansa la cubierta vegetal final, en la parte inferior solamente se ubican las tolvas para la retención de lodos.



Fotografía No. 10 Material para el empaque de grava

Estas unidades se instalan antes de los tanques de aireación por contacto o reactores biológicos, con el objeto de eliminar la mayor cantidad de sólidos y materia orgánica que pudieran causar la obstrucción o taponamiento de la grava de relleno del (de los) reactor(es) y regular la transferencia del efluente producido a la siguiente unidad de tratamiento.

En este proceso es importante realizar un control adecuado del lodo sedimentado que se acumula en el fondo, ya que una buena operación de este permite la obtención de lodos digeridos o estabilizados. En caso de baja eficiencia de remoción u otros problemas, será conveniente tomar medidas adecuadas para evitar que la capacidad de tratamiento disminuya.

Inusualmente este proceso demanda la instalación de un sistema de difusión que se instala en cada uno de los tanques para permitir la suspensión de los sólidos o del lodo durante el proceso de extracción.

d. Reactor biológico

El efluente del tanque de sedimentación primaria alimenta al tanque de aireación por contacto para su tratamiento. Este proceso puede estar formado por uno o más tanques que pueden presentar diversos tamaños pero siempre operando en serie, con un tiempo máximo de retención total de 24 horas.

Estas unidades cuentan con un falso fondo, que cubre el área superficial del tanque, por debajo del cual se encuentran instalados los tubos difusores o burbujeadores de aire, que inyectan el aire que asciende a través del lecho de grava. Es a través de éste empaque de grava por donde fluye el agua y el aire donde se forma un cultivo biológico que, en presencia del oxígeno disuelto, lleva a cabo la asimilación y degradación de la materia orgánica, así como parte de los sólidos suspendidos. En este proceso se pueden alcanzar eficiencias globales de remoción superiores al 90% de DBO y SST.

La aireación se proporciona las 24 horas del día con lo cual se evita la sedimentación de los sólidos biológicos formados los que son arrastrados y conducidos a través de la tubería de intercomunicación con la siguiente unidad, que puede ser otro tanque aereador por contacto o el sedimentador secundario de contacto.

El sistema de difusión se instala en cada uno de los tanques para llevar a cabo la oxigenación del medio y la degradación de la materia orgánica.

e. Sedimentador secundario

Se alimenta del efluente del reactor biológico, y tiene un tiempo de retención del orden de 6 horas. En este se remueven y quedan almacenados, en el fondo de la unidad, los sólidos biológicos formados, como consecuencia se obtienen efluentes con alta calidad y transparencia, los cual pueden presentar bajas concentraciones de DBO y de SST que pueden variar de 10 a 30 mg/l, con lo cual se cumple con la normatividad mexicana.

Cuenta con un falso fondo que sirve para sostener en la parte superior un empaque de grava que sirve de soporte a la malla sintética sobre la que descansa la cubierta vegetal final, en la parte inferior solamente se ubican las tolvas para la retención de lodos.

f. Desinfección

El tanque de desinfección se ubica después del sedimentador secundario. En éste se agrega cloro al efluente final para

eliminar las bacterias patógenas remanentes del proceso con el fin de descargar a los cuerpos de agua o posibilitar su reutilización.

El tanque de cloración está diseñado con la premisa de utilizar cloro en estado sólido (hipoclorito de calcio al 30% o 65%), el cual se dosifica en forma de pastillas con un hipoclorador que se instala dentro del agua, en la zona de entrada al tanque, donde se desprende y disuelve el cloro para destruir los organismos patógenos.

g. Digestor de lodos

En el diseño original de Japón se considera un proceso de digestión aerobia, sin embargo para la adaptación del esquema en México este se ha eliminado, ya que los lodos que se generan serán enviados, vía pipas, para su tratamiento en plantas de mayor capacidad.

h. Almacén de lodos

En este se depositan los lodos primarios y secundarios que genera el sistema para su envío a plantas de tratamiento de aguas residuales de mayor capacidad.

Cuenta con un falso fondo que sirve para sostener en la parte superior un empaque de grava que sirve de soporte a la malla sintética sobre la que descansa la cubierta vegetal final, en la parte inferior solamente se ubican las tolvas para la retención de lodos.

En este proceso es importante realizar un control adecuado del lodo sedimentado que se acumula en el fondo, ya que una buena operación de este permite la obtención de lodos estabilizados. En caso de baja eficiencia de remoción u otros problemas, será conveniente tomar medidas adecuadas para evitar que la capacidad de tratamiento disminuya.

Inusualmente este proceso demanda la instalación de un sistema de difusión que se instala en cada uno de los tanques para permitir la suspensión de los sólidos o del lodo durante el proceso de extracción.

2.3.8 Descripción de los accesorios

Los equipos principales se instalan de acuerdo a lo que indiquen los planos. Los puntos de cuidado son los siguientes:

a. Dispositivos de distribución

- Asegurar el paralelismo entre los diferentes dispositivos.
- Fijar los soportes sólidamente.

b. Dispositivos de aireación

- Fijar sólidamente los soportes y los extremos de la tubería.
- Asegurar el nivel (horizontalidad) de la parte difusora.

- Todos los tubos difusores deben ser colocados al mismo nivel.

Para confirmar la horizontalidad del sistema de aire, se debe establecer una línea estándar común para todos los tanques, (arriba del tubo del sistema de aire) utilizando un nivel automático. Luego se vierte el agua hasta justo abajo de los difusores colocados, midiendo el nivel de agua. Cuando no existe la horizontalidad, hay que cambiar las posiciones de los soportes del tubo receptor de difusión. La fijación se hace con tornillos de anclaje.

c. Vertedero del efluente

- Se debe colocar tomando en cuenta la profundidad efectiva del agua.

d. Soporte del medio de empaque

Al arreglo total de las vigas o trabes se le ha denominado soporte, ya que sobre este se instala la grava de contacto. Las trabes se instalan conservando una separación de 70 a 100 mm; claro que también puede ser aprovechado para el paso o conexión de tuberías. En tanques de aireación, el soporte se coloca entre 40 a 70 cm por encima de la plantilla y en la sedimentación, a la misma distancia de 100 a 150 cm de la corona del tanque.

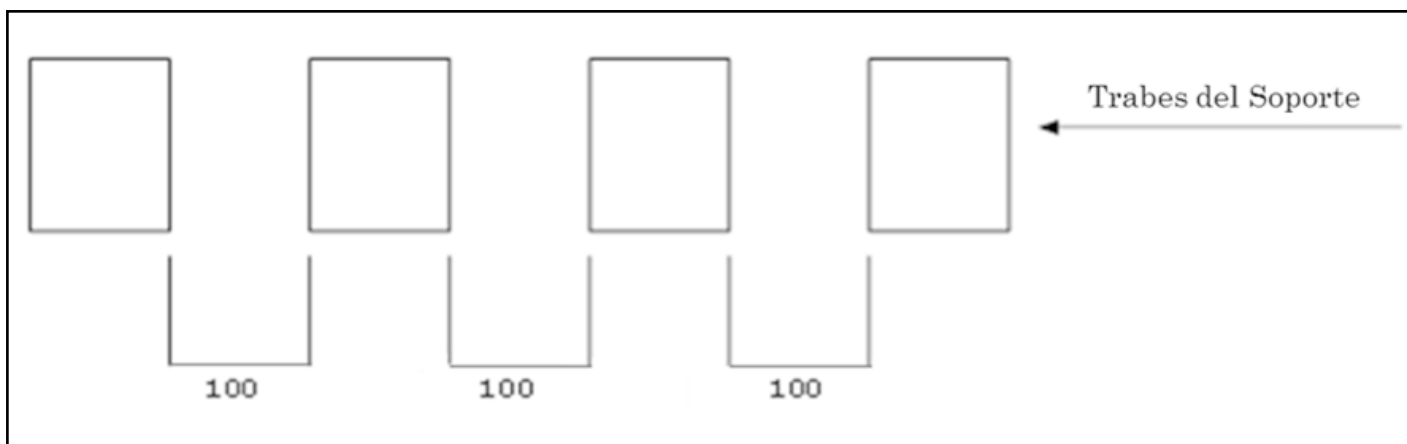


Figura No. 7 Separación de las trabes del soporte

e. Gravas capilares, llenado de material artificial de filtración

- La grava debe ser prelavada para quitar impurezas. El lavado será con agua a alta presión, acción que puede llevarse a cabo de muy variadas formas en el sitio de la obra o por el proveedor.
- La parte superior del soporte debe ser cubierta en forma gradual con dos capas de grava, la primera con diámetro de 140 a 160 mm, la segunda con diámetro de 80 a 120 mm. El llenado debe ser pieza por pieza a mano.

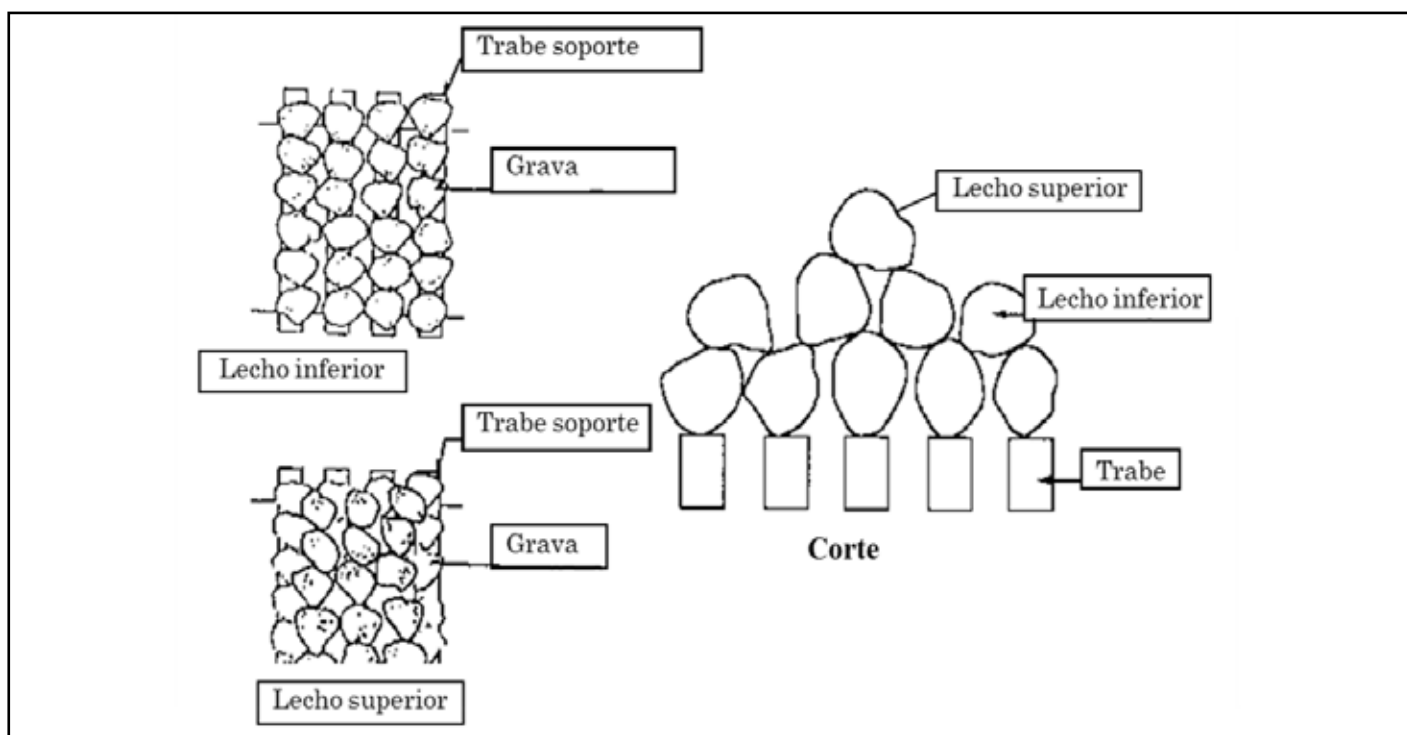


Figura No. 8 Llenado del material de filtración



Fotografía No. 11 Travesaños de soporte.



Fotografía No. 12 Colocación de grava lecho inferior

- Llenar con mucho cuidado las partes cercanas a la tubería.
- La capa (hasta la corona del tanque) que va arriba de las dos primeras podrá tener un diámetro de menor tamaño, que podrá variar de 40 mm a 60 mm. Esta capa de grava superficial deberá ser acomodada para dar un acabado convexo a lo ancho del tanque.

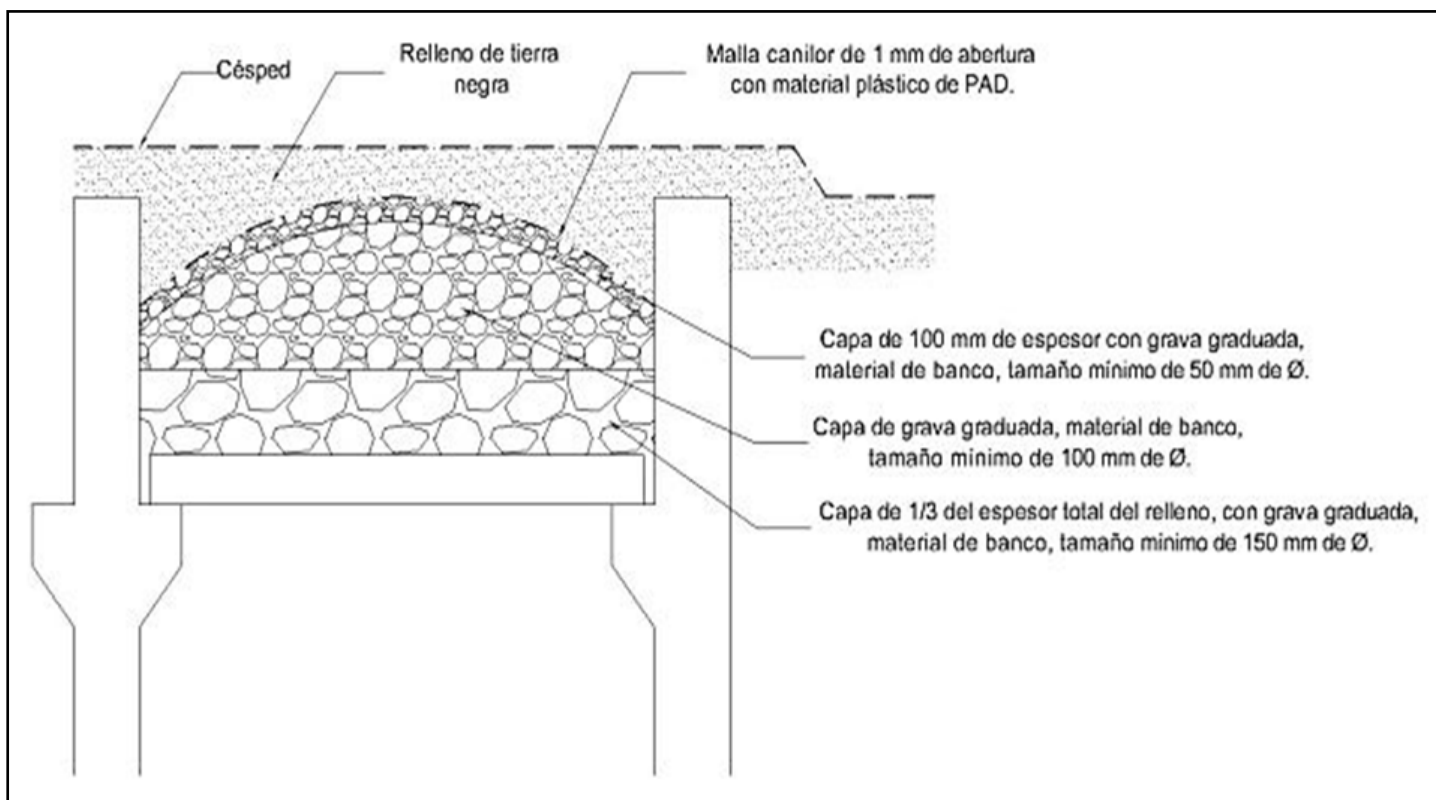


Figura No. 9 Arreglo de las capas de grava



Fotografía No. 13 Grava en el lecho superior



Fotografía No. 15 Instalación de la malla

f. Instalación de malla

- La malla capilar se colocará encima de la grava instalada con acabado superficial convexo en cada tanque; ésta deberá cubrir la superficie total de la planta.
- La zona de contacto de la malla con el muro de concreto debe colocarse de tal forma que la cubierta vegetal no caiga directamente sobre la grava.

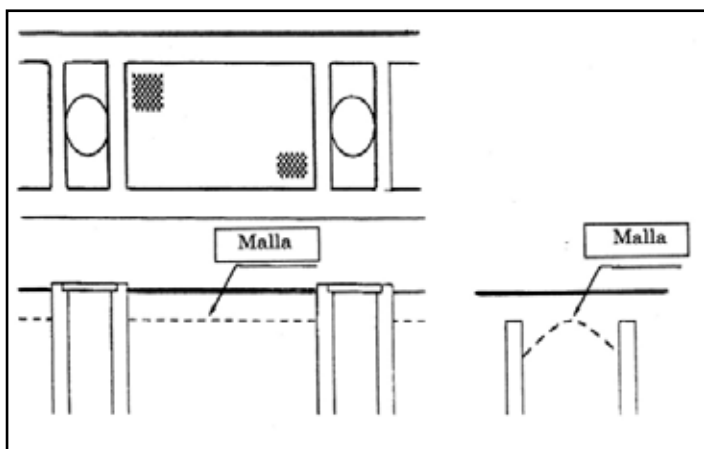


Figura No. 10 Colocación de la malla

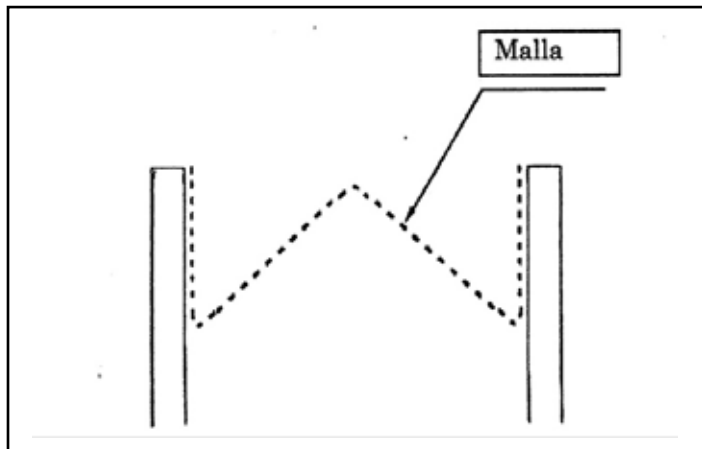


Figura No. 11 Forma que debe adoptar la malla sobre el lecho de grava



Fotografía No. 14 Malla de recubrimiento

- Al colocar la malla, debe conectarse con otra pieza del material con una superposición de 200 mm.



Fotografía No. 16 Superposición de malla

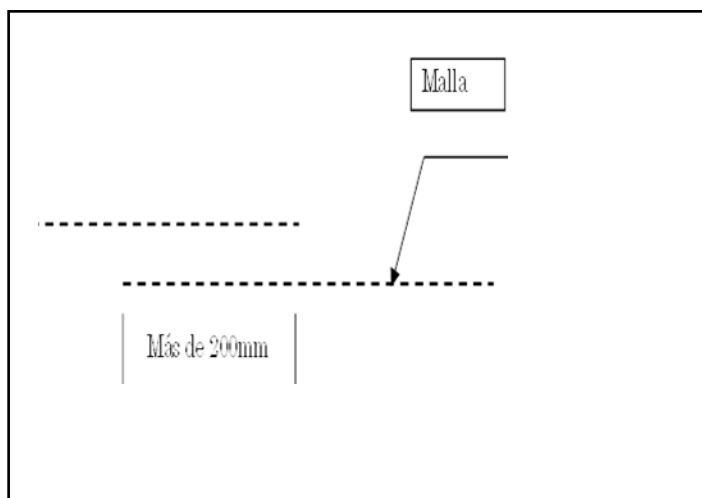


Figura No. 12 Instalación de la malla

g. Instalación de capa de suelo o cubierta vegetal

- La cubierta vegetal será de tierra negra y césped.
- No se instala cuando esté lloviendo o inmediatamente después de la lluvia.
- El llenado se realiza tomando en cuenta la compactación del mismo.



Fotografía No. 17 y No. 18 Colocación de cubierta vegetal

h. Instalación de tubería

En una planta de tratamiento de aguas residuales, la instalación de la tubería incluye la colocación de la tubería de aire, agua residual y lodos. Los puntos de cuidado al realizar las instalaciones son:

- Revisar cuidadosamente los diseños de la obra.
- Realizar la instalación en los lugares indicados, la posición tiene que ser muy exacta.
- Instalar con pendiente y con distribución exacta para no crear bolsas de aire o acumulación de agua dentro de las tuberías. Colocar purgas de condensados en la parte alta de la tubería de aire.
- La conexión de las tuberías debe implementarse con exactitud y seguridad, para que no haya fugas de aire y/o de agua sucia.
- La tubería debe fijarse sólidamente a una distancia determinada con un material anticorrosivo para evitar distorsión y vibración.

i. Obras de equipos eléctricos

Los equipos eléctricos deben ser instalados de manera correcta y segura, de acuerdo con los lineamientos señalados en la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEDE-2005) y National Electric Code (NEC 2011), de la Secretaria de Energía, para instalaciones eléctricas.

- Los tableros de operación de la fuerza motriz de tipo auto estable, deben fijarse sólidamente a la base de concreto con los tornillos de anclaje.
- Los tableros de control montados sobre la pared debe fijarse sólidamente con tornillos de montaje.
- Los cables eléctricos en los tableros deben estar conectados dentro de los protectores eléctricos previamente insertados.
- Los equipos eléctricos, como tableros de control y motores, deben tener conexión a tierra. Las obras de conexión a tierra deben ser de tipo 1, 2 ó 3, dependiendo del voltaje utilizado para los equipos.



- Los tomacorrientes que se instalen fuera del edificio o en los lugares húmedos, deben ser para exteriores e impermeables al agua. Los tableros, los tubos de cable eléctrico y las cajas de distribución deben ser de material impermeable o anticorrosivo, o deben tener recubrimientos de impermeabilización y de anticorrosión.

2.3.9 Descripción del tratamiento de lodos

A diferencia del proceso de lodos activados, en éste sistema los lodos se acumulan por largo tiempo en los tanques de tratamiento como son: sedimentador primario, aeración por contacto primario y secundario, y sedimentador secundario; en cada caso, los lodos son extraídos con apoyo del retrolavado con aire, el cual es suministrado con sopladores o compresores.

Los lodos acumulados por largos periodos de tiempo se mezclan y diluyen con el influente o con el agua contenida en los tanques, por acción del aire que es burbujeado con los difusores instalados en cada tanque, para ser extraídos por bombeo, operación que se le denomina retrolavado.

Las características de los lodos difieren de acuerdo con el tanque donde se encuentren, por ejemplo: en los sedimentadores primarios los lodos son principalmente del tipo orgánico, parcialmente estabilizados o digeridos con una alta concentración de sólidos suspendidos, muy densos o concentrados. En la aeración por contacto son lodos excedentes que se componen, principalmente, de membranas o residuos biológicos producto de la degradación de la materia orgánica removida por lo cual presentan baja concentración de sólidos suspendidos y densidad de lodos.

En el sistema tradicional de lodos activados, los lodos que se acumulan en el fondo de los sedimentadores primarios y secundarios se recolectan con frecuencia, con rastras para su posterior tratamiento. Debido a la frecuencia con que se recolectan los lodos, éstos no están digeridos, y se genera gran cantidad de este material; prácticamente el 100% de los sólidos suspendidos totales (SST) se convierten en lodos. Por lo contrario, en el proceso DoyooYookasoo, debido al largo tiempo de permanencia en los tanques, los lodos se digieren y su generación es mucho menor.

Si se observa presencia de lodos viejos y solidificados, el material acumulado se extrae mezclado con el líquido de los tanques, a través del retrolavado. Por lo tanto, como la extracción de lodos es periódica con el retrolavado, no se podrá dar la situación de que se tengan que extraer lodos solidificados dentro de los tanques.

Hay que verificar la cantidad de lodo acumulado en cada uno de los tanques, para determinar en cuál se extraerá el lodo con la ayuda del aire de retrolavado, operación que implica la inyección de aire en cada unidad, para mezclar y diluir el lodo acumulado con el agua residual sobrenadante a fin de facilitar la extracción de esta mezcla mediante bombeo y transferirla al tanque almacenador de lodos.

Para lo anterior, es necesario tomar en cuenta los siguientes puntos en el momento de la extracción de lodos:

- Cuando se realiza la extracción se debe cerrar la entrada de la alimentación. Seleccionar una bomba extractora con capacidad suficiente para terminar la extracción de 1 a 2 horas.

- No se debe extraer el lodo de todos los tanques al mismo tiempo. Se debe extraer el lodo de un tanque y esperar un cierto tiempo para extraer el lodo de otro tanque.
- El lodo acumulado en el tanque de almacenamiento se extrae por medio de pipas, para su disposición en planta de tratamiento de mayor tamaño.
- En el momento de extraer los lodos, se para la línea de tratamiento correspondiente para realizar el retrolavado sin que se alimente el influente en el momento de la extracción.

Por lo general, los lodos extraídos de los tanques de proceso se envían al tanque de almacenamiento de lodos y, de éste, al tanque espesador/deshidratador y salen en forma de “torta de lodo deshidratada”.

La extracción periódica de lodos se realiza cuando la acumulación de estos llega a ocupar 1/3 del nivel total del tanque sedimentador o de los tanques del reactor biológico, cuando la acumulación de lodos sea de 0.5 m a partir del fondo del tanque o, en su caso, realizar la extracción de lodos por lo menos una vez al año.

Debido a que el presente tratamiento es del tipo de membrana o capa biológica, también conocida como zooglea, la cual se forma en la superficie del medio de contacto (grava), no se utiliza el indicador o parámetro de MLSS (sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado), que representa la concentración de lodos activados del proceso convencional de lodos activados; por lo tanto, es difícil comparar la concentración de lodos dentro del reactor del DoyooYookasoo con los lodos de otros procesos.

En este tratamiento tampoco se utiliza el indicador IVL (Índice volumétrico de lodos), no obstante de que las concentraciones de lodos son de 7,000 mg/l en el sedimentador primario, en caso que se realice el retrolavado, y de 2,500 a 3,000 mg/l en los tanques del reactor biológico.

Por consiguiente, para aprovechar el lecho de secado de lodos, es necesario su espesamiento. En caso que el espesado se haga por gravedad, se puede llegar a una concentración de SS de alrededor de 15,000 mg/l.

2.4 Metodología de diseño

Determinación de datos de Diseño.	
Población del último censo oficial	hab
Población actual (h_a)	hab
Población de proyecto (h_p)	hab
Dotación de agua potable (D)	l/hab/d
Aportación de agua residual (A)	l/hab/d
Coefficiente de aportación (Ca)	adimensional
Gasto medio diario de agua residual (Q_m)	l/s
Gasto mínimo de agua residual (Q_{min})	l/s
Gasto máximo instantáneo de agua residual (Q_{MaxI})	l/s
Gasto máximo extraordinario de agua residual (Q_{MaxE})	l/s
Coeficiente de Harmon (M)	3.8 si $h_p \leq 1,000$ hab.
	$1 + \frac{4}{4 + \sqrt{h_p}} \text{ si } h_p > 1,000 \text{ habitantes}$ Donde: (h = población en miles)
Coeficiente de previsión (Fs)	1.5
Concentración de DBO en influente (C_{DBO_i})	mg/l
Concentración de SS en influente (C_{SS_i})	mg/l
Concentración de DBO en efluente (C_{DBO_e})	mg/l
Concentración de SS en efluente (C_{SS_e})	mg/l
Sitio de vertido previo tratamiento	Arroyo, río, presa, lago, mar.

La población actual se obtiene a partir del último Censo oficial realizado por el INEGI en la localidad.

La población de proyecto se obtiene aplicando diferentes métodos de proyección a los datos censales de población, en caso de existir disposición de la Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP) se debe aplicar la proyección realizada por el Consejo Nacional de Población (Conapo).

La dotación de agua potable se obtiene a partir del número de habitantes y del clima imperante en la localidad.

El coeficiente de aportación de aguas residuales (Ca) se adopta como un porcentaje del valor de la dotación de agua potable, el cual varía de 75% a 80%.

Cálculo de la aportación:

$$A = \frac{D \cdot C}{100}$$

Donde:

A: Aportación en l/hab/d

D: Dotación en l/hab/d

C_a: Coeficiente de aportación (%)

Cálculo del gasto medio:

$$Q_m = \frac{A \cdot h_p}{86400}$$

Donde:

Q_m: Gasto medio en l/s.

A: Aportación en l/hab/d.

h_p: Población de proyecto en hab.

86400: Número de segundos que tiene un día

Cálculo del gasto mínimo:

$$Q_{\min} = 0.5 \cdot Q_m$$

Donde:

Q_{min}: Gasto mínimo de agua residuales l/s

Cálculo del gasto máximo instantáneo:

$$Q_{\text{Max I}} = M \cdot Q_m$$

Donde:

M: Coeficiente de Harmon

Q_{Max I}: Gasto máximo instantáneo de agua residual en l/s

Cálculo del gasto máximo extraordinario:

$$Q_{\text{Max E}} = F_s \cdot Q_{\text{Max I}}$$

Donde:

F_s: Factor de seguridad

Q_{Max E}: Gasto máximo extraordinario de agua residual en l/s

A continuación se explican las funciones y las estructuras de la planta de tratamiento de aguas residuales.

2.4.1 Pretratamiento

La rejilla debe tener una abertura o claro de 30 mm entre rejas o soleras, la cual se complementa con un dispositivo para eliminar, automáticamente o manualmente, los objetos sólidos adheridos al dispositivo. Las rejillas se instalan en uno o los dos canales existentes; en ocasiones se pueden instalar más de una rejilla en cada canal, con diferente claro.

- La rejilla gruesa, manual o automática, se instala para eliminar los objetos sólidos en aguas residuales sin tratamiento, por lo que debe contar con un mecanismo (del tipo peine o cepillo), para retirar el material atrapado, para no reducir la función filtradora del tamiz.
- La rejilla gruesa se coloca y se fija en un ángulo que puede variar de 45 a 90 grados con respecto a la corriente del canal, de preferencia a 60 grados.
- La distancia entre el tubo del influente y la rejilla gruesa será de entre 500 mm y 1,500 mm.
- La diferencia de altura entre el nivel de colocación del tubo del influente y de la rejilla gruesa automática será de 200 mm. Se debe evitar la acumulación de sólidos antes de la rejilla gruesa, por lo que se requiere de pendiente constante y la colocación de placas guía y de placas laterales para el anclaje de la rejilla.
- Para depositar y drenar los sólidos retenidos en la rejilla gruesa automática, se coloca una canasta o escurridor de tamaño adecuado. Para realizar un mantenimiento rutinario y constante, la canasta de tamizado debe estar puesta en un lugar de fácil acceso y con estructura fácil de quitar y poner.

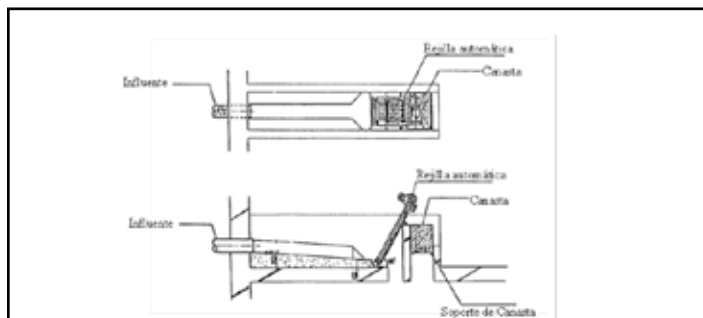


Figura No. 13 Instalación de la rejilla gruesa

Para el diseño del pretratamiento, además de las recomendaciones emitidas, se recomienda consultar el apartado 2.2 “Operación y Procesos Unitarios de Tratamiento” del libro 49 “Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos” del *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento* (MAPAS) última versión de la Conagua.

Tabla de conversión de unidades			
Concepto	Unidades	Factor de Conversión	Unidades
Q _m	l/s	Multiplicar por 86.4	m ³ /d
Q _{min}	l/s	Multiplicar por 86.4	m ³ /d
Q _{Max I}	l/s	Multiplicar por 86.4	m ³ /d
Q _{Max E}	l/s	Multiplicar por 86.4	m ³ /d
C _{DBO i}	mg/l	Dividir por 1000	Kg/m ³
C _{SS i}	mg/l	Dividir por 1000	Kg/m ³
C _{DBO e}	mg/l	Dividir por 1000	Kg/m ³
C _{SS e}	mg/l	Dividir por 1000	Kg/m ³

2.4.2 Sedimentador primario

Características que deben considerarse en el diseño:

- Estos tanques se pueden dividir en 1, 2 o 3 cámaras conectadas en serie, dependiendo del caudal a tratar, cada una con diferente tiempo de retención, de acuerdo a las siguientes recomendaciones.

Recomendaciones del número de unidades de sedimentación				
Rango de Caudal (m³/d)	Número de cámaras	Cámara	Tiempo de Retención (horas)	Tirante Hidráulico "H _p " (m)
10 a 45	1	1ª	24	2.8
46 a 99	Se consideran dos módulos paralelos del rango anterior.			
100 a 199	2	1ª	16	3.5
		2ª	8	
200 a 700	3	1ª	16	3.8
		2ª	6	
		3ª	2	
701 a 1,400	Se consideran dos módulos paralelos del rango anterior.			

El número de cámaras es solamente una recomendación del diseño original japonés, el cual puede modificarse según la disposición geométrica del predio en el que se construirá la planta

Cálculo del volumen efectivo para la cámara inicial.

$$V_{EP1} = Q_m * T_{RP1}$$

Donde:

- V_{EP1} : Volumen efectivo de la cámara inicial (m³)
- Q_m : Gasto Medio (m³/día)
- T_{RP1} : Tiempo de retención de la cámara inicial (d)

Cálculo del volumen requerido para cada cámara.

$$V_{RP1} = V_{EP1} * C_{VP}$$

Donde:

- V_{RP1} : Volumen requerido de la cámara (m³)
- C_{VP} : Factor de volumen adicional por la infraestructura, igual a 1.25

El área superficial de cada cámara se calcula por medio de la fórmula:

$$A_{sP1} = \frac{V_{RP1}}{H_p}$$

Donde:

- A_{sP1} : Área superficial cámara inicial (m²)
- H_p : Tirante hidráulico (m)

Las dimensiones de la cámara inicial de la unidad de sedimentación primaria se calculan con una relación de largo al ancho igual a 4, por medio de la formula.

$$a_{P1} = \sqrt{\frac{A_{sP1}}{4}}$$

Donde:

- a_{P1} : Ancho de la cámara inicial (m)

$$L_p = 4 * a_{P1}$$

Donde:

- L_p : Largo de la cámara inicial del sedimentador primario (m)

Determinado el largo (L_p) del sedimentador primario inicial, este se mantiene fijo para el diseño de las unidades posteriores del proceso (sedimentador primario 2 y 3; aereador primario; aereador secundario y sedimentador secundario)

- Si el sedimentador primario cuenta con más de una cámara (Rango 100 a 1,400 m³/d) el volumen de la cámara secundaria será:

$$V_{EP2} = Q_m * T_{RP2}$$

Donde:

- V_{EP2} : Volumen efectivo de la cámara secundaria (m³)
- Q_m : Gasto Medio (m³/día)
- T_{RP2} : Tiempo de retención de la cámara secundaria (d)

- El cálculo del volumen requerido para la segunda cámara.

$$V_{RP2} = V_{EP2} * C_{VP}$$

Donde:

- V_{RP2} : Volumen requerido de la cámara (m³)
- C_{VP} : Volumen adicional de infraestructura igual a 1.25

- El área superficial de cada cámara se calcula por medio de la fórmula:

$$A_{sP2} = \frac{V_{RP2}}{H_p}$$

- la determinación del ancho de la cámara dos se utilizará el cálculo:

$$a_{P2} = \frac{A_{sP2}}{L_p}$$

Donde:

a_{p2} : Ancho de la cámara secundaria (m)
 A_{sp2} : Área superficial cámara secundaria (m²)

Para el cálculo de la tercera cámara del sedimentador primario (Rango 200 a 1,400 m³/d) se debe aplicar el procedimiento anterior sustituyendo T_{RP2} por T_{RP3} .

- La carga orgánica de DBO que tendrá el sedimentador primario se determina por medio de:

$$DBO_P = C_{DBO_i} * Q_m$$

Donde:

CO
 CO_{DBO_P} : Carga orgánica de DBO (Kg/día)
 C_{DBO_i} : Concentración de DBO en el influente (Kg/m³)

El porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) para esta unidad es de 30%, mientras que el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos (SS) es de 65%.

$$C_{DBO_{eP}} = C_{DBO_i} * (1 - \%_{remoción})$$

Donde:

$C_{DBO_{eP}}$: Concentración DBO del efluente (mg/l).
 $\%_{remoción}$: 30% de remoción expresado en fracción.

$$C_{SS_{eP}} = C_{SS_i} * (1 - \%_{remoción})$$

Donde:

$C_{SS_{eP}}$: Concentración SS del efluente (mg/l).
 $\%_{remoción}$: 65% de remoción expresado en fracción.

- Recomendaciones adicionales

- » El tubo influente descargará, a partir de la superficie del agua, a una tercera parte (1/3) de la profundidad efectiva, para que no se agiten los lodos sedimentados.
- » La apertura del tubo del efluente o del extremo inferior del deflector se localizará a la mitad de la altura de la superficie del agua, para evitar el arrastre de los materiales flotantes.
- » Los muros laterales del tanque no tendrán la altura completa, lo cual será compensado con la capa superficial de suelo, por encima de la grava y corona del tanque, para dar continuidad al nivel del suelo.
- » El suelo de recubrimiento será colocado en forma de montículo, para evitar que salga el agua por el fenómeno de capilaridad hacia arriba, y así evitar los malos olores.

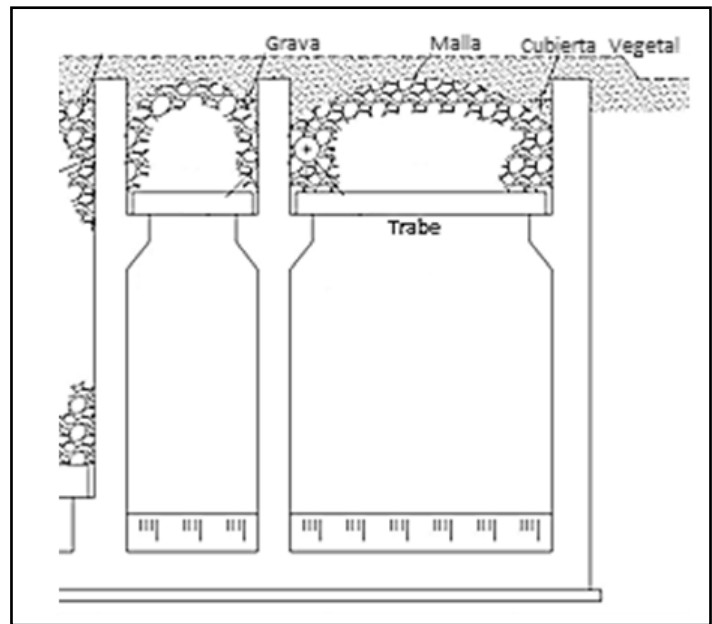


Figura No. 14 Sección transversal del sedimentador primario

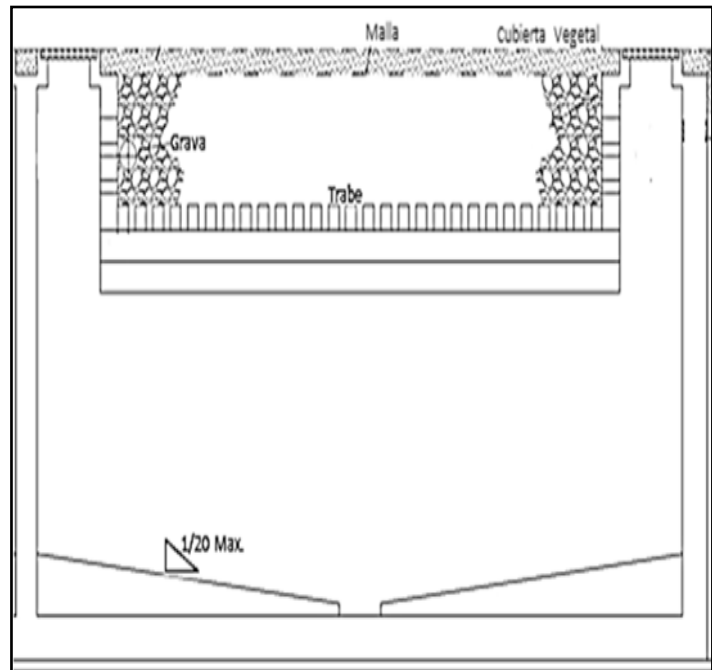


Figura No. 15 Sección longitudinal del sedimentador primario

2.4.3 Aereador por contacto primario

Características que deben considerarse en el diseño:

- Estos tanques se pueden dividir en 2 o 3 cámaras conectadas en serie, dependiendo del caudal a tratar, cada una con diferente volumen, de acuerdo a las siguientes recomendaciones.

Recomendaciones del número de unidades de airación primaria				
Rango de Caudal (m³/d)	Número de cámaras	Cámara	Fracción del volumen total “f _{VEA} ” (m³)	Tirante Hidráulico “H _A ” (m)
10 a 45	1	1ª	1/2	2.7
46 a 99	Se consideran dos módulos paralelos del rango anterior.			
100 a 199	2	1ª	3/5	3.4
		2ª	2/5	
200 a 700		1ª	3/5	3.7
		2ª	2/5	
701 a 1,400	Se consideran dos módulos paralelos del rango anterior.			

El número de cámaras es solamente una recomendación del diseño original japonés, el cual puede modificarse según la disposición geométrica del predio en el que se construirá la planta.

- Cálculo de la carga orgánica de DBO (CODBO).

$$CO_{DBO A} = C_{DBO eP} * Q_m$$

Donde:

$CO_{DBO A}$: Carga orgánica de DBO del aereador primario (Kg/d)

$C_{DBO eP}$: Concentración de DBO en el influente (Kg/m³)

Q_m : Gasto Medio (m³/d)

- Para el cálculo del volumen del aereador primario, se utiliza: la carga orgánica de DBO promedio aplicada (CO), y la carga volumétrica de DBO recomendada debe ser 0.3 kg/m³d. El cálculo es como sigue:

$$V_{EA} = \frac{CO_{DBO A}}{CV_{DBO A}}$$

Donde:

V_{EA} : Volumen efectivo del reactor primario (m³)

$CO_{DBO A}$: Carga orgánica de DBO (Kg/d)

$CV_{DBO A}$: Carga volumétrica de DBO = 0.3 kg/m³d

- Cálculo del volumen requerido

$$V_{RA} = V_{EA} * C_{VA}$$

Donde:

V_{RA} : Volumen requerido de la cámara (m³)

C_{VA} : Factor de volumen adicional por la infraestructura y relleno de grava, igual a 2

- El área superficial de la primera cámara se calcula por medio de la fórmula:

$$V_{A1} = V_{RA} * f_{VEA1}$$

$$A = \frac{V_{EA1}}{H_A}$$

Donde:

V_{EA1} : Volumen efectivo de la primera cámara (m³)

f_{VEA1} : Fracción del volumen total primera cámara, 3/5 de V_E

H_A : Tirante Hidráulico (m)

A_{SA1} : Área superficial de la primera cámara (m²)

- El ancho de la unidad se calcula, por medio de la fórmula.

$$a_{A1} = \frac{A_{SA1}}{L_p}$$

Donde:

a_{A1} : Ancho de la primera cámara (m)

L_p : Largo de la cámara inicial del sedimentador primario (m)

- Para el cálculo de la segunda cámara del aereador primario se debe aplicar el procedimiento hasta aquí descrito sustituyendo:

f_{VEA1} : Fracción del volumen total, 3/5 de V_{EA}

por

f_{VEA2} : Fracción del volumen total, 2/5 de V_{EA}

El proceso de cálculo corresponde a un caudal con rango de diseño de 100 a 199 m³/d, para el diseño de los rangos superiores del caudal se deberá aplicar el mismo procedimiento, utilizando la fracción del volumen total indicada en la tabla "Recomendaciones del número de unidades de aeración primaria", dependiendo del número de cámaras a emplear.

- El porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) para esta unidad es de 80%.

$$C_{DBO eA} = C_{DBO eP} * (1 - \% \text{remoción } A)$$

Donde:

$C_{\text{DBO eA}}$: Concentración DBO en el efluente (mg/l).
 $\%_{\text{remoción A}}$: 80% de remoción expresado en fracción.

- Recomendaciones adicionales
 - » El volumen de empaque de los medios de contacto con respecto al volumen efectivo es mayor al 55%.
 - » Los medios de contacto pueden ser de material artificial de polipropileno o piedra volcánica de 160 mm de diámetro; la parte superior de la superficie acuática se llenan de piedra volcánica la cual se protege con una cubierta de malla y por último con un recubrimiento de suelo. La grava es de alta dureza y los diámetros de 50 mm a 150 mm.
 - » El tanque está provisto de dispositivos de aireación, que mezclan las aguas residuales contenidas en el tanque y suministran oxígeno suficiente para mantener el nivel de oxígeno disuelto en alrededor de 1 ppm. Además, tiene una estructura de extracción que permita enviar los lodos separados o en exceso al tanque de almacenamiento de lodos.
 - » La aireación, también, tiene la función de despegar la capa biológica o zooglea del medio; la estructura y sus accesorios deben facilitar la extracción de los lodos biológicos separados del medio y enviarlos al tanque de almacenamiento de lodos para su posterior tratamiento y/o disposición final.
 - » El tanque aereador por contacto se llena de medio de contacto para formar un lecho filtrante donde se forma y adhiere la zooglea microbiana que absorbe, descompone y remueve o elimina la materia orgánica, para lo cual se suministra aire para mantener una concentración adecuada de oxígeno disuelto y la agitación del licor mezclado (agua residual y sólidos biológicos) del tanque. Ya que la parte de arriba del tanque está cubierta de grava y suelo, no hay arrastre ni producción de flóculos por aireación, por lo que no es necesario contar con dispositivos antiespumantes o antifloculante alguno.
 - » En la parte inferior del tanque se instalan los dispositivos de aireación y por arriba de éstos se colocan las rejillas que sostienen los medios de contacto (artificiales), que es el empaque principal del tanque, sobre la cual se instala una nueva rejilla que soporta una capa de grava sobre la que se coloca la malla y una capa de suelo o tierra, en este orden. En caso de usar solo grava se elimina la rejilla de soporte superficial.
 - » El tanque tiene una estructura angosta, larga y poco profunda; con la cual el agua sigue un régimen de flujo tipo pistón, (*plugflow*).
 - » La alimentación del influente y la salida del efluente se llevan a cabo a través de orificios de paso que se ubican en los lados más angostos (opuestos) y a toda la profundidad del empaque de grava.

2.4.4 Aereador por contacto secundario

Características que se deben considerar en el diseño del aereador por contacto secundario:

Estos tanques se pueden dividir en 1 o 2 cámaras conectadas en serie, dependiendo del caudal a tratar, cada una con diferente volumen, de acuerdo a las siguientes recomendaciones.

Recomendaciones del número de unidades de aeración secundaria				
Rango de Caudal (m³/d)	Número de cámaras	Cámara	Fracción del volumen total “f _{VE AS} ” (m³)	Tirante Hidráulico “H _{AS} ” (m)
10 a 45	No es necesario			
46 a 99	No es necesario			
100 a 199	1	1ª	1	3.35
200 a 700	2	1ª	3/5	3.65
		2ª	2/5	
701 a 1,400	Se consideran dos módulos paralelos del rango anterior.			

El número de cámaras es solamente una recomendación del diseño original japonés, el cual puede modificarse según la disposición geométrica del predio en el que se construirá la planta.

- Cálculo de la carga orgánica de DBO (CODBO)

$$CO_{\text{DBO AS}} = C_{\text{DBO eA}} * Q_m$$

Donde:

$CO_{\text{DBO AS}}$: Carga orgánica de DBO del reactor secundario (Kg/d)

$C_{\text{DBO eA}}$: Concentración de DBO en el influente (Kg/m³)

Q_m : Gasto Medio (m³/d)

- Para el cálculo del volumen del aereador secundario, se utiliza: la carga orgánica de DBO promedio aplicada (CO), y la carga volumétrica de DBO recomendada debe ser 0.5 kg/ m³ d. El cálculo es como sigue:

$$V_{\text{E AS}} = \frac{CO_{\text{DBO AS}}}{CV_{\text{DBO AS}}}$$

Donde:

V_{EAS} : Volumen efectivo del reactor secundario (m^3)
 CO_{DBOAS} : Carga orgánica de DBO (Kg/d)
 CV_{DBOAS} : Carga volumétrica de DBO = 0.5 kg/ m^3 d.

- Cálculo de volumen requerido.

$$V_{RAS1} = V_{EAS1} * C_{VAS}$$

Donde:

V_{RAS1} : Volumen requerido de la cámara (m^3)
 C_{VAS} : Factor de volumen adicional por la infraestructura y relleno de grava, igual a 2

- El área superficial de la primera cámara se calcula por medio de la fórmula:

$$V_{AS1} = V_{RAS1} * f_{VEAS1}$$

$$A_{sAS1} = \frac{V_{EAS1}}{H_{AS}}$$

Donde:

V_{EAS1} : Volumen efectivo de la primera cámara (m^3)
 f_{VEAS1} : Fracción del volumen total cámara 1, 2/3 de V_{EAS} .
 H_{AS} : Tirante Hidráulico (m)
 A_{sAS1} : Área superficial de la primera cámara (m^2)

- El ancho de la unidad se calcula, por medio de la fórmula.

$$a_{AS1} = \frac{A_{sAS1}}{L_p}$$

Donde:

a_{AS1} : Ancho de la cámara (m)
 A_{sAS1} : Área superficial de la primera cámara (m^2)
 L_p : Largo de la cámara inicial del sedimentador primario (m)

NOTA: En caso de que el valor de $a_{AS1} < 0.9$ m, se deberá adoptar un ancho mínimo de 0.9 m.

- El porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) para esta unidad es de 35%.

$$C_{DBOeAS} = C_{DBOeA} * (1 - \%_{remoción})$$

Donde:

C_{DBOeAS} : Concentración DBO en el efluente (mg/l).
 $\%_{remoción}$: 35% de remoción expresado en fracción.

- Recomendaciones adicionales

- » En el caso de utilizar empaque sintético, el volumen inferior del medio será la mitad (1/2) de empaque total.
- » La tasa de empaque de los medios de contacto frente al volumen efectivo es mayor al 55%.
- » El material del medio de contacto es piedra volcánica o sintética, de diámetro de 100 a 150 mm.
- » La grava se incorpora hasta el nivel de la corona de los muros del tanque, donde se le coloca una malla de protección contra la penetración de material fino proveniente de la capa de suelo o tierra preparada que se coloca encima. Tanto la grava, como la malla y la capa de suelo evitan el arrastre de flóculos por efecto de la aireación, por lo que no es necesario algún dispositivo antiespumante o antifloculante.
- » En la parte inferior del tanque se instalan los dispositivos de aireación y por encima de estos se colocan las rejillas que sostienen los medios de contacto como la grava, que es el empaque principal del tanque. Encima de la grava se instala una malla y una capa de suelo o tierra, en este orden.
- » El tanque tendrá una estructura angosta, larga y poco profunda, con la cual el agua sigue un régimen de flujo tipo pistón (*plugflow*).

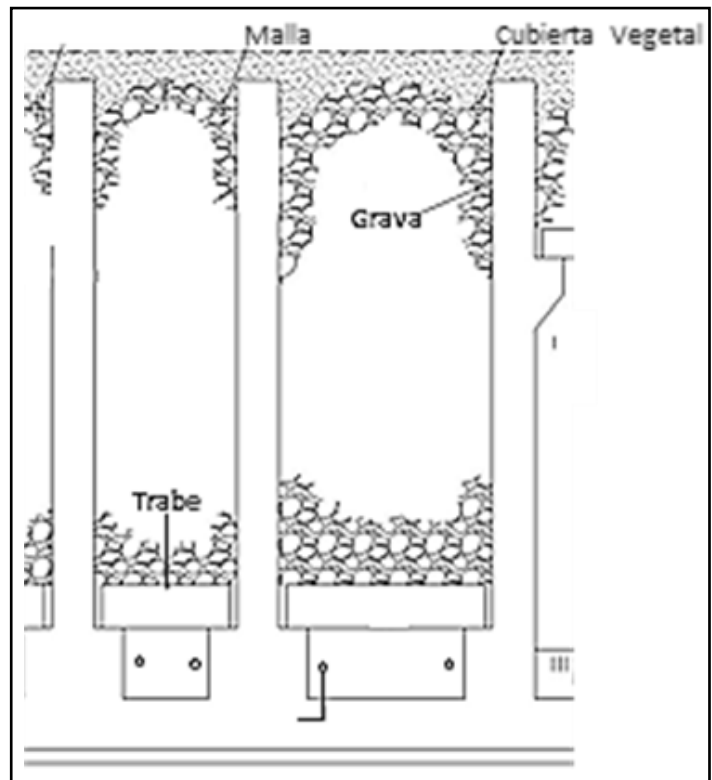


Figura No. 16 Sección transversal del aerador primario y secundario

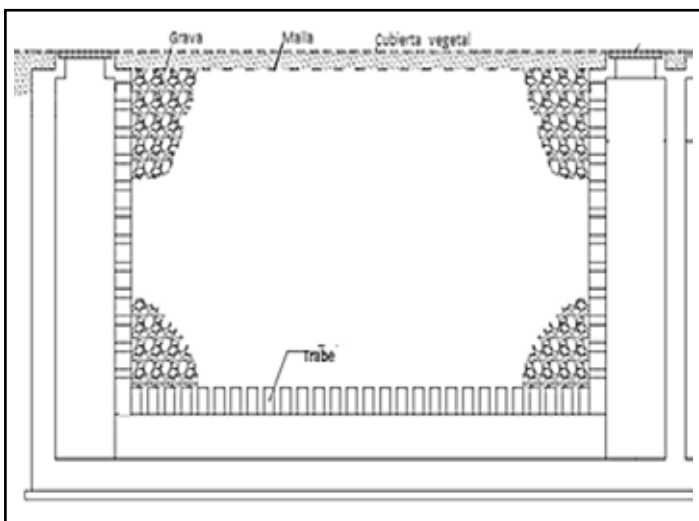


Figura No. 17 Sección longitudinal del aereador primario y secundario

2.4.5 Sedimentador secundario

Características que deben considerarse en el diseño del sedimentador por contacto:

- Estos tanques solo tendrán una cámara conectada en serie con el resto del sistema, de acuerdo a las siguientes recomendaciones será el tamaño recomendado.

Recomendaciones del número de unidades de sedimentación secundario.				
Rango de Caudal (m³/d)	Número de cámaras	Cámara	Tiempo de Retención (horas)	Tirante Hidráulico "H _F " (m)
10 a 45	1	1ª	4.8	2.6
46 a 99	Se considera dos módulos paralelos del rango anterior.			
100 a 199	1	1ª	4.8	3.3
200 a 700		1ª	4.8	3.6
701 a 1,400	Se considera dos módulos paralelos del rango anterior.			

El número de cámaras es solamente una recomendación del diseño original japonés, el cual puede modificarse según la disposición geométrica del predio en el que se construirá la planta

- Cálculo del volumen efectivo.

$$V_{EF} = Q_m * T_{RF}$$

Donde:

V_{EF} : Volumen efectivo de la cámara (m³)

T_{RF} : Tiempo de retención (d)

- Cálculo del volumen requerido.

$$V_{RF} = V_{EF} * C_{VF}$$

Donde:

V_{RF} : Volumen requerido (m³)

C_{VF} : Factor de volumen adicional por infraestructura igual a 1.5

- El área superficial de la cámara se calcula por medio de la fórmula:

$$A_{SF} = \frac{V_{RF}}{H_F}$$

Donde:

A_{SF} : Área superficial (m²)

H_F : Tirante Hidráulico (m)

- El ancho de la unidad se calcula, por medio de la formula.

$$a_F = \frac{A_{SF}}{L_P}$$

Donde:

a_F : Ancho de la cámara (m)

A_{SF} : Área superficial de la primera cámara (m²)

L_P : Largo de la cámara inicial del sedimentador primario (m)

NOTA: En caso de que el valor de $a_F < 0.9$ m, se deberá adoptar un ancho mínimo de 90 cm.

- La carga orgánica de DBO que tendrá el sedimentador secundario se determina por medio de:

$$CO_{DBO F} = C_{DBO eAS} * Q_m$$

Donde:

$CO_{DBO F}$: Carga orgánica de DBO (Kg/día)

$C_{DBO eAS}$: Concentración de DBO en el influente (Kg/m³)

Q_m : Gasto Medio (m³/día)

El porcentaje de remoción de sólidos suspendidos (SS) es de 80%.

$$C_{SS\text{ eF}} = C_{SS\text{ eP}} * (1 - \%_{\text{remoción}})$$

Donde:

$C_{SS\text{ eF}}$: Concentración SS del efluente (mg/l).

$C_{SS\text{ eP}}$: Concentración SS del influente (mg/l)

$\%_{\text{remoción}}$: 80% de remoción expresado en fracción.

- Recomendaciones adicionales

- » Se instala un vertedero por el cual rebosa el efluente del tanque sedimentador secundario. La longitud del vertedero, en metros, es la requerida para que el volumen promedio diario de aguas que pasa a través de este sea menor a 30 metros cúbicos (m³) por día por metro de vertedor, ("carga sobre vertedor").
- » La profundidad efectiva es de 2.6 m a 3.6 m según caudal a tratar. Sin embargo, si el fondo del tanque tiene la forma de embudo, cónica ó piramidal truncada, no se considera como profundidad la mitad inferior de la altura del embudo.
- » La plantilla del tanque tiene la forma de un círculo o de un polígono regular (con excepción de triángulo equilátero).
- » La pendiente del embudo tiene un ángulo mayor de 60° con respecto a la horizontal o a la superficie del agua. El fondo del tanque tiene un sistema o accesorios eficientes para extraer los lodos acumulados.
- » El tanque tiene una estructura o forma que facilite la acumulación efectiva de lodos y que permita la extracción automática de lodos, para transferirlos al tanque almacenador.
- » Este tanque se instala para separar por sedimentación los sólidos suspendidos o lodos biológicos producidos en el proceso, para que el agua liberada de éstos rebosa a través del vertedor, hacia el tanque de desinfección. Los lodos acumulados en el fondo del tanque son extraídos por bombeo, para ser enviados al tanque almacenador de lodos.
- » La unidad tiene una estructura continua de grava, malla y suelo soportada por las rejillas.
- » La estructura, forma y accesorios debe facilitar la sedimentación y la acumulación de los lodos así como su extracción, para ser enviados, por bombeo, al tanque almacenador de lodos.

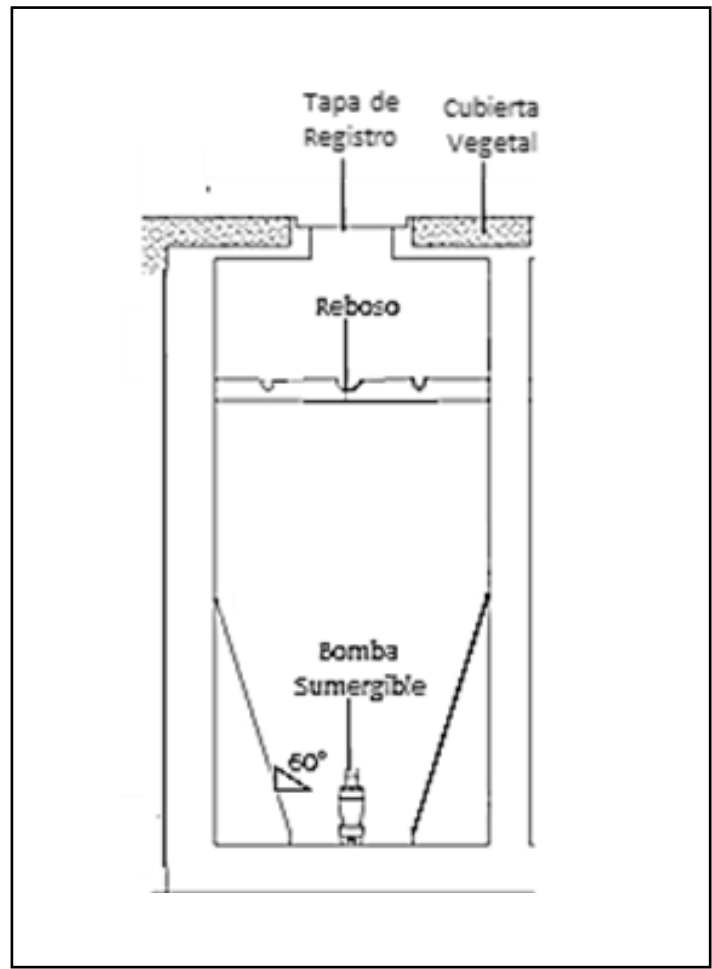


Figura No.18 Sección transversal del sedimentador secundario

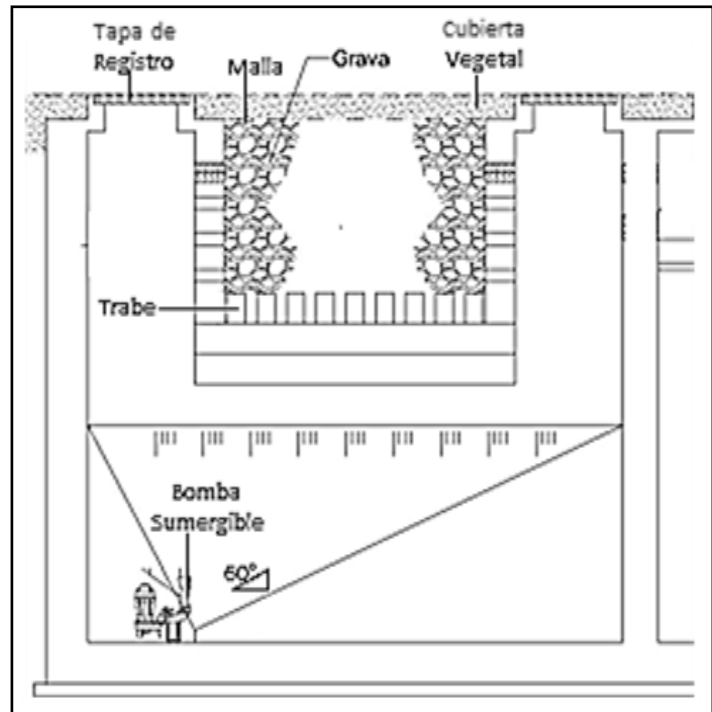


Figura No. 19 Sección longitudinal del sedimentador secundario

2.4.6 Desinfección

Características que deben considerarse en el diseño del tanque que por contacto de cloro:

- Este tanque solo tendrá una cámara conectada en serie con el resto del sistema, de acuerdo a las siguientes recomendaciones será el tamaño recomendado.

Recomendaciones de tirante hidráulico del tanque de desinfección.				
Rango de Caudal (m³/d)	Número de cámaras	Cámara	Tiempo de Retención (min)	Tirante Hidráulico "H _D " (m)
10 a 45	1	1ª	15	1.25
46 a 99		1ª		1.5
100 a 199		1ª		2.0
200 a 700		1ª		2.5
701 a 1,400		1ª		3

El número de cámaras es solamente una recomendación del diseño original japonés, el cual puede modificarse según la disposición geométrica del predio en el que se construirá la planta

- Cálculo del volumen efectivo para cada cámara.

$$V_{ED} = Q_m * T_{RD}$$

Donde:

V_{ED} : Volumen efectivo de la cámara (m³)
 Q_m : Gasto medio en m³/d.
 T_{RD} : Tiempo de retención (d)

Tabla de conversión de unidades			
Concepto	Unidades	Conversión factor	Unidades
T_{RD}	min	Dividir por 1,440	d

- Cálculo del volumen requerido.

$$V_{RD} = V_{ED} * C_{VD}$$

Donde:

V_{RD} : Volumen requerido (m³)
 C_{VD} : Factor de volumen adicional para infraestructura igual a 1.5

- El área superficial de la cámara se calcula por medio de la fórmula:

$$A_{SD} = \frac{V_{RD}}{H_D}$$

Donde:

A_{SD} : Área superficial (m²)
 H_D : Tirante Hidráulico (m)

- Las dimensiones de la unidad se calculan con una relación de largo (L) al ancho igual a 1, por medio de la fórmula.

$$a_D = \sqrt{\frac{A_{SD}}{1}}$$

Donde:

a_D : Ancho de la cámara (m)
 A_{SD} : Área superficial (m²)

$$L_D = a_D$$

Donde:

L_D : Largo de la cámara (m)

- La dosis de tableta que se debe agregar es de 2g de cloro activo por m³ de agua a desinfectar o influente, el hipoclorito de calcio contiene 65% de cloro activo, para conocer la cantidad de tabletas de hipoclorito requerido se utiliza la siguiente fórmula:

$$W = \frac{Q_m * D}{\%_{Cl act}}$$

Donde:

W : Hipoclorito de calcio requerido (g/d).
 D_{Cl} : Dosis de tableta de cloro activo=2g/m³.
 $\%_{Cl act}$: Contenido en fracción de cloro activo en tableta de hipoclorito= 65%

- Recomendaciones adicionales

- » El tanque de desinfección tiene una estructura que permite una continua y efectiva acción de desinfección por contacto entre las aguas residuales y el cloro.
- » El tanque debe tener una estructura que facilite la salida uniforme de las aguas tratadas con cloro, evitando su cortocircuito y/o contraflujo.
- » Como agente desinfectante se usa hipoclorito de calcio (en tabletas o lentejas), con las que se llenan el hipoclorador o esterilizador el cual se instala en la zona de entrada del tanque donde se desprende cloro activo al influente, que inactiva los microorganismos presentes en el agua residual.
- » El tanque tiene una estructura que facilita el llenado del desinfectante y la limpieza del fondo de la unidad; en la parte superior debe incluir una obra de salida del efluente desinfectado.
- » Se hará un monitoreo del cloro residual en las aguas tratadas; cuando se detecte la falta o el exceso de cloro en el agua, se ajustará la apertura móvil del hipoclorador. Normalmente, la dosis de cloro se ajusta para que el número de colonias de *Escherichia Coli* en el agua tratada se mantenga inferior a 1,000 NMP/ 100 ml. La concentración de cloro residual deberá ser de 0.2 a 2 mg/ l, como referencia.
 - Cuando se tiene escasez de cloro: se presenta deterioro de la calidad del agua del entorno.
 - Cuando hay exceso de cloro: se presenta impacto sobre seres vivos y la calidad del agua del entorno.
- » Para evitar el contraflujo hacia el tanque sedimentador, debe existir una diferencia de unos 10 cm entre la salida de agua del tanque sedimentador y el nivel de instalación del hipoclorador. Además, debe haber una diferencia de altura de 20 cm entre el nivel de la corona del tanque de contacto y la superficie del agua.
- » El hipoclorador debe ser resistente y de fácil mantenimiento; debe tener una estructura que permita modificar el volumen del agua tratada con el tiempo de contacto.
- » Los sólidos suspendidos pueden sedimentarse en el fondo del tanque, también se pueden acumular algunos materiales flotantes en la superficie del agua; para evitar y minimizar este tipo de problemas, el tanque debe incluir estructuras o accesos que faciliten la inspección y limpieza.

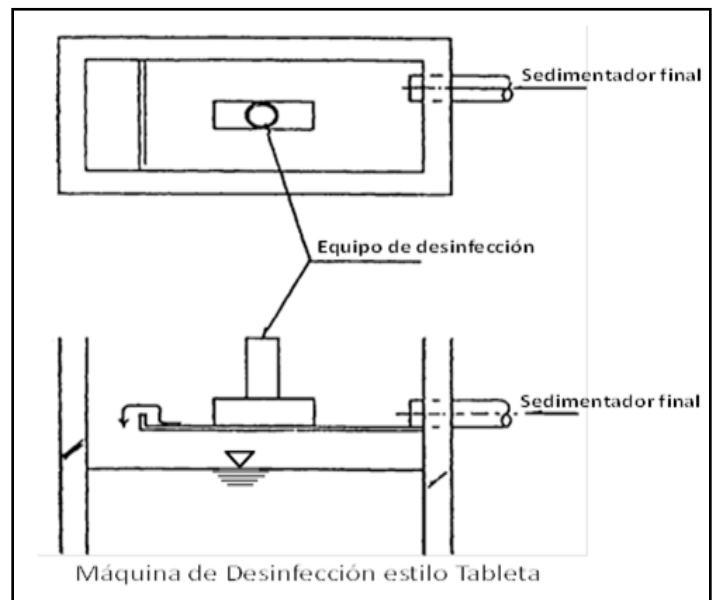


Figura No. 20 Características del tanque de desinfección

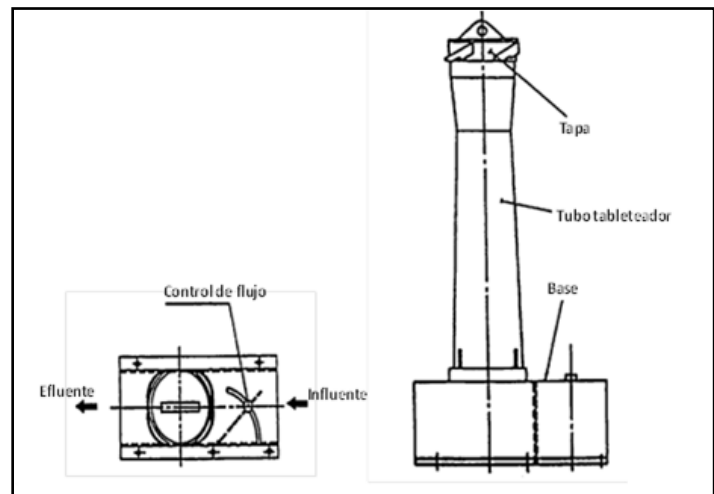


Figura No. 21 Estructura del tanque de desinfección

2.4.7 Espesador de lodos

En México el tratamiento y espesado de los lodos producidos por las plantas de tratamiento de aguas residuales con proceso Doyoo Yookasoo se llevarán a cabo a través de camiones transportadores a plantas de mayor tamaño para su disposición final. Si la planta con el proceso Doyoo Yookasoo no tiene a sus alrededores una planta que cuente con tratamiento y espesado de lodos, o si el ingeniero a cargo lo cree necesario a continuación se mencionan recomendaciones para diseño de la unidad que realiza esta operación.

- Recomendaciones adicionales

- » Tendrá una estructura para concentrar lodos y para permitir la transferencia del líquido sobrenadante al tanque de bombeo de aguas residuales o al tanque sedimentador.

- » El tanque deberá tener un volumen efectivo que sea congruente con el volumen de lodos que entra y la concentración calculada de transferencia. La profundidad efectiva será mayor a 2 m y menor de 5 m.
- » La apertura del tubo influente y del tubo efluente, así como del extremo inferior del deflector (baffle), deben tener una estructura que no impida la separación sólido-líquido del lodo.
- » El fondo del tanque tendrá la forma de un embudo, cónica o piramidal truncada. La pendiente del embudo tendrá un ángulo superior a 45° con respecto a la horizontal o a la superficie del agua. Esta regla no se aplicará si el tanque tiene un dispositivo que separe eficientemente el líquido sobrenadante de los lodos concentrados.
- » La estructura del tanque debe permitir una fácil transferencia de lodos.
- » El tanque espesador de lodos concentrará los lodos excedentes extraídos del sedimentador secundario.
- » Incluirá una rejilla soporte sobre la que instalarán un medio de contacto de grava, cuya superficie exterior será cubierta por una malla, sobre la que se colocará una capa de suelo en la que se sembrará pasto.
- » En el fondo del tanque, se instalará un difusor de aire para agitar los lodos (retrolavado) en el momento de su extracción.

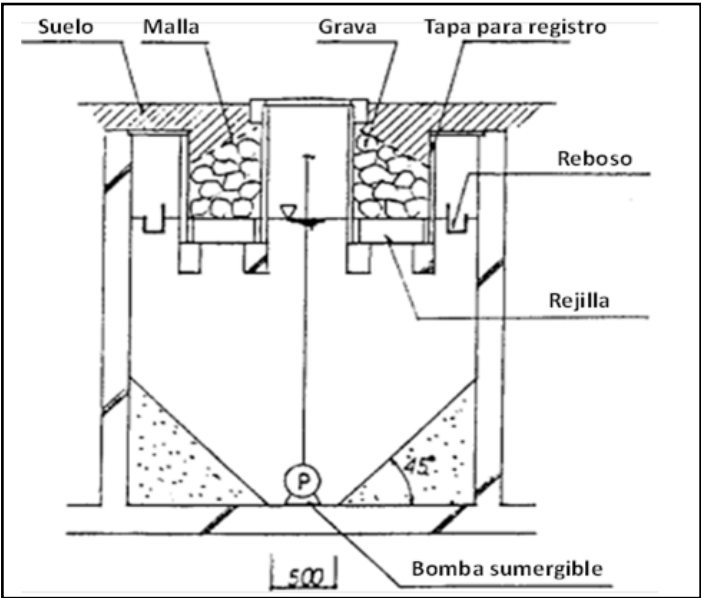


Figura No. 22 Estructura común de un tanque de espesador de lodos

2.4.8 Almacenamiento de lodos

Generalmente el almacenamiento de lodos lo constituye una cámara, la que en función del caudal a tratar tendrá distinto tirante hidráulico, de acuerdo a las siguientes recomendaciones.

Recomendaciones de tirante hidráulico del almacén de lodos.	
Rango de caudal (m³/d)	Tirante hidráulico "H _L " (m)
10 a 99	2.8
100 a 199	3.0
200 a 1,400	3.5

- Cálculo para determinar la masa de sólidos en lodos producidos en el proceso.

$$M_{SL} = \%_L * C_{SSi} * Q_m$$

Donde:

M_{SL} : Masa de sólidos en lodos (Kg/d)
 $\%_L$: Porcentaje de generación de lodos expresado en fracción. Para el proceso Doyoo Yookasoo el porcentaje de generación de lodos es del 85%.
 C_{SSi} : Concentración de SS en influente (Kg/m³)
 Q_m : Gasto medio (m³/d)

- Cálculo para determinar el volumen de sólidos en los lodos producidos en el proceso.

$$V_{SL} = \frac{M_{SL}}{\delta_A * S_s * P_s}$$

Donde:

V_{SL} : Volumen de sólidos en lodos (Kg/d)
 δ_A : Densidad del agua, se tomara como referencia 1,000 kg/m³
 S_s : Gravedad específica de los lodos. Para el proceso Doyoo Yookasoo se tomara el valor de 1.005
 P_s : Porcentaje de sólidos, expresado como decimal. Para el proceso Doyoo Yookasoo este valor es 0.1

- El volumen efectivo estará de acuerdo con el programa de desalojo, a partir del cálculo:

$$V_{EL} = V_{SL} * T_{RL}$$

Donde:

V_{EL} : Volumen efectivo del almacén de lodos (m³)
 T_{RL} : Tiempo de retención, para el almacén de lodos se considera 365 d.

- Cálculo del volumen requerido.

$$V_{RL} = V_{EL} * C_{VL}$$

Donde:

V_{RL} : Volumen requerido (m³)

C_{VL} : Factor de volumen adicional por infraestructura, igual a 1.25

- El área superficial de cada cámara se calcula por medio de la fórmula:

$$A_{SL} = \frac{V_{RL}}{H_L}$$

Donde:

A_{SL} : Área superficial del almacén de lodos (m²)

H_L : Tirante Hidráulico (m)

- Las dimensiones de la unidad de almacenamiento de lodos se calculan con una relación de largo (L) al ancho igual a 3, por medio de la formula.

$$a_L = \sqrt{\frac{A_{SL}}{3}}$$

Donde:

a_L : Ancho del almacén de lodos (m)

$$L_L = 3 * a_L$$

Donde:

L_L : Largo del almacén de lodos (m)

- Recomendaciones adicionales

- » El tanque tiene una estructura que facilite la extracción de lodos para enviarlos por camión a plantas tratadoras de mayor capacidad.
- » Se instala un dispositivo para agitar o, en su caso, aerear el lodo almacenado.
- » En el tanque de almacenamiento se acumulan los lodos concentrados, por un tiempo definido, para su posterior deshidratación, mediante lechos de secado, y disposición final o para reuso.

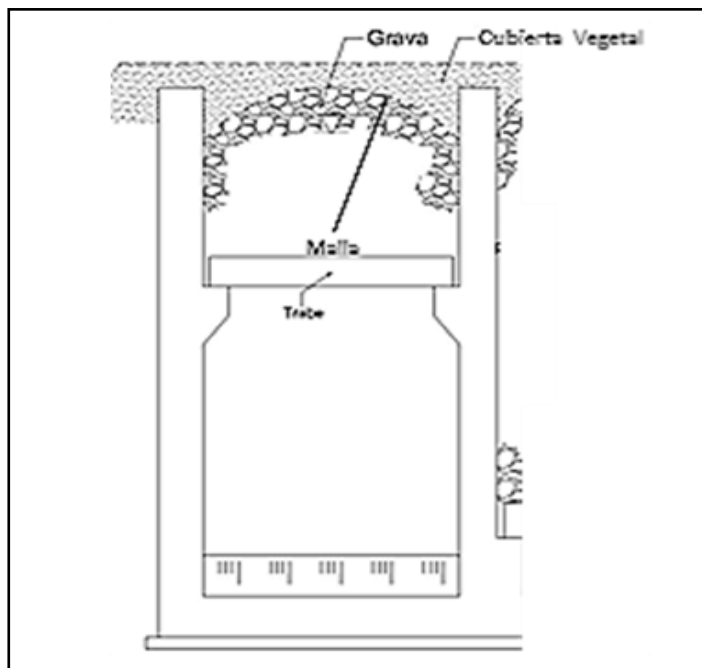


Figura No. 23 Sección transversal del almacén de lodos

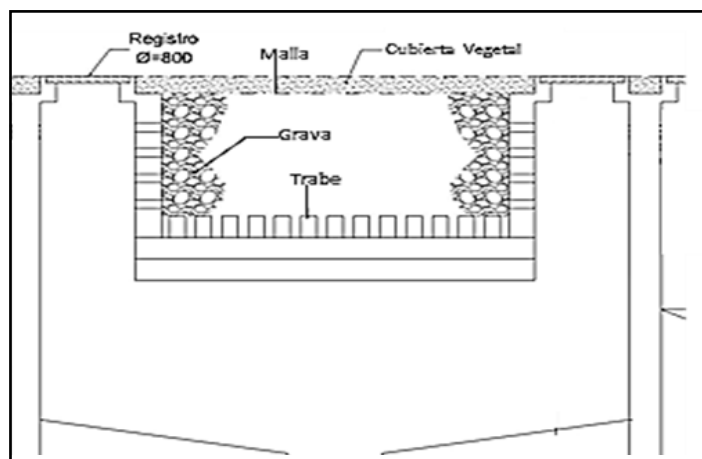


Figura No. 24 Sección longitudinal del almacén de lodos

2.4.9 Sopladores y tuberías de aire

- Los sopladores instalados tendrán suficiente capacidad para suministrar el volumen necesario de aire a las diferentes áreas del proceso. La mayor parte de los costos de electricidad corresponde a los sopladores. Al diseñar el equipamiento de la planta es muy importante determinar el número de sopladores y sus capacidades de acuerdo con su uso. Lo normal es que se instalen equipos de uso diario, en número y capacidades necesarias; además de considerar un equipo de la misma capacidad como reserva. En la tabla siguiente se colocan la cantidad de equipos de suministro de aire (sopladores) recomendados según el rango de caudal, pero este número puede cambiar según las necesidades de la localidad.

Recomendación de presión ejercida por el agua		
Rango de Caudal (m³/d)	Número de Equipos (# _E)	Presión ejercida de agua "P _A " (mca)
10 a 45	1	3
46 a 99		
100 a 199	2	4
200 a 700	3	
701 a 1,400	4	

- El flujo suministrado de aire requerido por cada soplador, se determinará por medio de la carga orgánica de DBO en cada aereador y un volumen recomendado de 90 m³ de aire por cada kilogramo de DBO en el agua.

$$S_A = CO_{DBO A} * C_A$$

Donde:

S_A: Flujo suministrado de aire requerido por el aereador primario (m³/d).

CO_{DBO A}: Carga orgánica de DBO del reactor primario (Kg/d).

C_A: 90m³/Kg DBO volumen de aire recomendado para el aereador primario.

$$S_{AS} = CO_{DBO AS} * C_{AS}$$

Donde:

S_{AS}: Flujo suministrado de aire requerido por el aereador secundario (m³/d).

CO_{DBO AS}: Carga orgánica de DBO del reactor secundario (Kg/d).

C_{AS}: 90m³/Kg DBO volumen de aire recomendado para el aereador secundario.

$$S_T = S_A + S_{AS}$$

Donde:

S_T: Flujo suministrado de aire total en reactor biológico (m³/d)

$$S_s = \frac{S_T}{\#_E}$$

Donde:

S_s: Flujo suministrado de aire por equipo (m³/s)

#_E: Número de equipos suministradores de aire.

Tabla de conversión de unidades			
Concepto	Unidades	Factor de Conversión	Unidades
S _s	m³/d	Dividir por 86,400	m³/s

- Cálculo de la potencia del equipo de soplado, se utiliza 60% del torque total para un óptimo desempeño y un tiempo de vida más largo del equipo.

$$P_o = \left(\frac{S_s * P_A}{\%_{\text{torque}}} \right) * 0.001$$

Donde:

P_o: Potencia del equipo de soplado (Kw)

%_{torque}: Porcentaje en fracción de la capacidad total del equipo igual a 60%

P_A: Presión ejercida de agua (Pa)

Tabla de conversión de unidades			
Concepto	Unidades	Factor de Conversión	Unidades
P _A	mca	Multiplicar por 9,810	Pa

- El valor de potencia del equipo de soplado se debe expresar en HP para facilitar su manejo.

Tabla de conversión de unidades			
Concepto	Unidades	Factor de Conversión	Unidades
P _o	Kw	Dividir por 0.7457	HP

- Recomendaciones adicionales

- Adicionalmente a los equipos requeridos, se necesita un equipo de reserva con la misma potencia a los equipos en operación.
- Las tuberías de aire se colocarán por áreas de acuerdo con el lugar, al método, la presión y volumen del aire utilizado.
- Para realizar ajustes menores al volumen de aire para aireación y agitación se instalará un tubo de escape derivado del cabezal, para dejar salir el aire excedente.
- Sistema de tuberías de aire.
- Las tuberías de aire para los tanques aereadores primarios y secundarios por contacto se harán como dos sistemas independientes y tendrán sus medidores de flujo para poder ajustar el volumen de aire.
- Para poder realizar ajustes menores dentro de los registros de inspección, se colocarán válvulas de PVC en el extremo de los tubos.

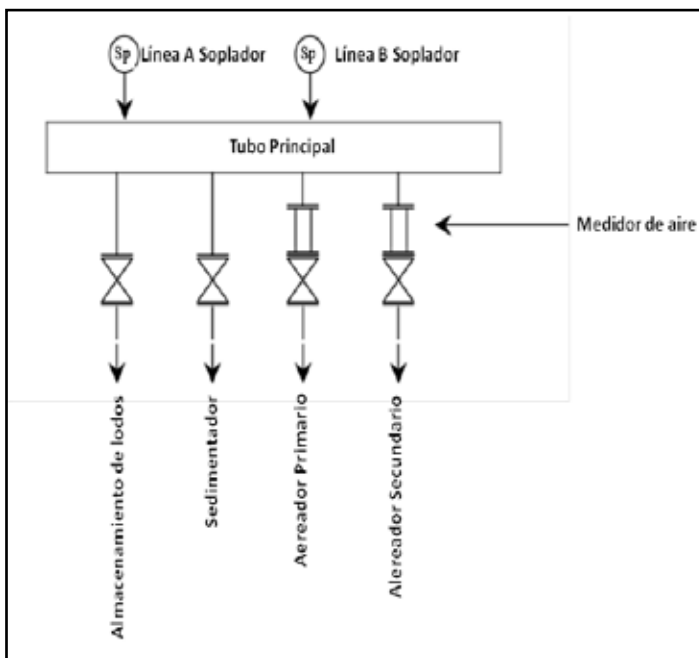


Figura No. 25 Diagrama del sistema de tuberías de aire

2.5 Ejemplo de aplicación

Datos iniciales:

Población actual (h_a)	450 hab
Población de proyecto (h_p)	600 hab
Dotación de agua potable (D)	200 l/hab/d
Coefficiente de aportación (Ca)	80 %
Concentración de DBO en influente (C_{DBO_i})	220 mg/l
Concentración de SS en influente (C_{SS_i})	200 mg/l
Factor de seguridad (F_s)	1.5 (Factor definido para calcular $Q_{Max E}$)

» Coeficiente de Harmon (M):

Población $h_p < 1,000$ habitantes el coeficiente de Harmon es igual a 3.8

» Cálculo de la aportación:

$$A = \frac{D * Ca}{100} = \frac{200 \text{ l/hab/d} * 80}{100} = 160 \text{ l/hab/d}$$

Donde:

A: Aportación en l/hab/d

D: Dotación en l/hab/d

Ca: Coeficiente de aportación (%)

• Cálculo del gasto medio:

$$Q_m = \frac{A * h_p}{86400} = \frac{160 \text{ l/hab/d} * 600 \text{ hab}}{86400} = 1.11 \text{ l/s}$$

Dónde:

Q_m : Gasto medio en l/s

A: Aportación en l/hab/d

h_p : Población de proyecto en hab

86400: Número de segundos que tiene un día

» Cálculo del gasto mínimo:

$$Q_{min} = 0.5 * Q_m = 0.5 * 1.11 \text{ l/s} = 0.56 \text{ l/s}$$

Donde:

Q_{min} : Gasto mínimo de agua residual l/s

Q_m : Gasto medio en l/s

» Cálculo del gasto máximo instantáneo:

$$Q_{Max I} = M * Q_m = 3.8 * 1.11 \text{ l/s} = 4.22 \text{ l/s}$$

Donde:

$Q_{Max I}$: Gasto máximo instantáneo de agua residual l/s

M: Coeficiente de Harmon

Q_m : Gasto medio en l/s

» Cálculo del gasto máximo extraordinario:

$$Q_{Max E} = F_s * Q_{Max I} = 1.5 * 4.22 \text{ l/s} = 6.33 \text{ l/s}$$

Donde:

$Q_{Max E}$: Gasto máximo extraordinario de agua residual l/s

F_s : Factor de seguridad

$Q_{Max I}$: Gasto máximo instantáneo de agua residual l/s

2.5.1 Sedimentador primario

» Cálculo del volumen efectivo de la cámara inicial:

$$V_{EP1} = Q_m * T_{RP1} = 100 \text{ m}^3/\text{d} * 2/3 \text{ d} = 66.67 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{EP1} : Volumen efectivo de la cámara inicial (m³)

Q_m : Gasto Medio (m³/d)

T_{RP1} : Tiempo de retención 1er cámara (d)

» Cálculo del volumen requerido de la cámara inicial:

$$V_{RP1} = V_{EP1} * C_{VP} = 66.67 \text{ m}^3 * 1.25 = 83.34 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{RP1} : Volumen requerido de la cámara inicial (m³)

V_{EP1} : Volumen efectivo de la cámara inicial (m³)

C_{VP} : Factor de volumen adicional por infraestructura igual a 1.25

» Cálculo del área superficial 1a cámara:

$$A_{sP1} = \frac{V_{RP1}}{H_p} = \frac{83.34 \text{ m}^3}{3.5 \text{ m}} = 23.81 \text{ m}^2$$

Donde:

A_{sP1} : Área superficial 1a cámara (m^2)

V_{RP1} : Volumen requerido de la cámara inicial (m^3)

H_p : Tirante Hidráulico (m)

» Cálculo del ancho de la cámara inicial:

$$a_{P1} = \sqrt{\frac{A_{sP1}}{4}} = \sqrt{\frac{23.81 \text{ m}^2}{4}} = 2.44 \text{ m} \approx 2.4 \text{ m}$$

Donde:

a_{P1} : Ancho de la cámara inicial (m)

A_{sP1} : Área superficial de la cámara inicial (m^2)

» Cálculo del largo de la cámara inicial:

$$L_p = 4 * a_{P1} = 4 * 2.4 \text{ m} = 9.6 \text{ m}$$

Donde:

L_p : Largo de la cámara inicial (m)

a_{P1} : Ancho de la cámara inicial (m)

Determinado el largo (L_p) del sedimentador primario cámara inicial, $L_p = 9.6\text{m}$ se mantiene fijo para el diseño de las unidades posteriores del proceso (sedimentador primario cámara 2, aerador primario cámara 1, aerador primario cámara 2 y sedimentador secundario).

» Cálculo del volumen efectivo 2a cámara:

$$V_{EP2} = Q_m * T_{RP1} = 100 \text{ m}^3/\text{d} * 1/3 \text{ d} = 33.33 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{EP2} : Volumen efectivo 2a cámara (m^3)

Q_m : Gasto Medio (m^3/d)

T_{RP2} : Tiempo de retención 2a cámara (d)

» Cálculo del volumen requerido 2a cámara:

$$V_{RP2} = V_{EP2} * 1.25 = 33.33 \text{ m}^3 * 1.25 = 41.66 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{RP2} : Volumen requerido 2a cámara (m^3)

V_{EP2} : Volumen efectivo 2a cámara (m^3)

» Cálculo del área superficial 2a cámara:

$$A_{sP2} = \frac{V_{RP2}}{H_p} = \frac{41.66 \text{ m}^3}{3.5 \text{ m}} = 11.90 \text{ m}^2$$

Donde:

A_{sP1} : Área superficial 1a cámara (m^2)

V_{RP1} : Volumen requerido 1a cámara (m^3)

H_p : Tirante Hidráulico (m)

» Cálculo del ancho 2a cámara:

$$a_{P2} = \frac{A_{sP2}}{L_p} = \frac{11.90 \text{ m}^2}{9.6} = 1.24 \text{ m} \approx 1.25 \text{ m}$$

Donde:

a_{P2} : Ancho 2a cámara (m)

A_{sP2} : Área superficial 2a cámara (m^2)

» Cálculo de la carga orgánica de DBO:

$$CO_{DBOP} = C_{DBOI} * Q_m = 0.22 \text{ kg/m}^3 * 100 \text{ m}^3/\text{d} = 22 \text{ kg/d}$$

Donde:

CO_{DBOP} : Carga orgánica de DBO (Kg/d)

C_{DBOI} : Concentración de DBO en el influente (Kg/m^3)

Q_m : Gasto Medio (m^3/d)

» Cálculo de la concentración de DBO efluente:

$$C_{DBOEP} = C_{DBOI} * (1 - \%_{\text{remoción}}) = 220 \text{ mg/l} * (1 - 0.3) = 154 \text{ mg/l}$$

Donde:

C_{DBOEP} : Concentración DBO del efluente (mg/l)

C_{DBOI} : Concentración de DBO en el influente (mg/l)

$\%_{\text{remoción}}$: 30% de remoción expresado en fracción

» Cálculo de la concentración de SS efluente:

$$C_{SSep} = C_{SSI} * (1 - \%_{\text{remoción}}) = 200 \text{ mg/l} * (1 - 0.65) = 70 \text{ mg/l}$$

Donde:

C_{SSep} : Concentración SS del efluente (mg/l)

C_{SSI} : Concentración SS del influente (mg/l)

$\%_{\text{remoción}}$: 65% de remoción expresado en fracción

2.5.2 Aereador por contacto primario

- » Cálculo de la carga orgánica de DBO:

$$CO_{DBO A} = C_{DBO eP} * Q_m = 0.15 \text{ kg/m}^3 * 100 \text{ m}^3/\text{d} = 15 \text{ kg/d}$$

Donde:

$CO_{DBO A}$: Carga orgánica de DBO del reactor primario (Kg/d)
 $C_{DBO eP}$: Concentración de DBO en el influente (Kg/m³)
 Q_m : Gasto Medio (m³/d)

- » Cálculo del volumen efectivo del reactor primario:

$$V_{EA} = \frac{CV_{DBO A}}{CO_{DBO A}} = \frac{15 \text{ kg/d}}{0.3 \text{ kg/m}^3 \text{ d}} = 50 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{EA} : Volumen efectivo del reactor primario (m³)
 $CO_{DBO A}$: Carga orgánica de DBO (Kg/d)
 $CV_{DBO A}$: Carga volumétrica de DBO = 0.3 kg/m³ d (Recomendado)

- » Cálculo del volumen requerido del reactor primario:

$$V_{RA} = V_{EA} * C_{VA} = 50 \text{ m}^3 * 2 = 100 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{RA} : Volumen requerido del reactor primario (m³)
 V_{EA} : Volumen efectivo del reactor primario (m³)
 C_{VA} : Factor de volumen adicional por infraestructura y relleno de grava igual a 2

- » Cálculo del área superficial 1ª cámara:

$$V_{EA1} = V_{RA} * f_{VEA1} = 100 \text{ m}^3 * 3/5 = 60 \text{ m}^3$$

$$A_{sA1} = \frac{V_{EA1}}{H_A} = \frac{60 \text{ m}^3}{3.4 \text{ m}} = 17.65 \text{ m}^2$$

Donde:

V_{EA1} : Volumen efectivo 1ª cámara (m³)
 V_{RA} : Volumen requerido del reactor primario (m³)
 f_{VEA1} : Fracción de volumen 1ª cámara, 3/5 de V_{EA}
 H_A : Tirante Hidráulico (m)
 A_{sA1} : Área superficial 1ª cámara (m²)

- » Cálculo del ancho 1ª cámara:

$$a_{A1} = \frac{A_{sA1}}{L_p} = \frac{17.65 \text{ m}^2}{9.6 \text{ m}} = 1.84 \text{ m} \approx 1.8 \text{ m}$$

Donde:

a_{A1} : Ancho 1ª cámara (m)
 A_{sA1} : Área superficial 1ª cámara (m²)

L_p : Largo de la cámara inicial del sedimentador primario (m)

- » Cálculo del área superficial 2ª cámara:

$$V_{EA2} = V_{RA} * f_{VEA2} = 100 \text{ m}^3 * 2/5 = 40 \text{ m}^3$$

$$A_{sA2} = \frac{V_{EA2}}{H_A} = \frac{40 \text{ m}^3}{3.4 \text{ m}} = 11.76 \text{ m}^2$$

Donde:

V_{EA2} : Volumen efectivo 2ª cámara (m³)
 V_{RA} : Volumen requerido del reactor primario (m³)
 f_{VEA2} : Fracción de volumen 2ª cámara, 2/5 de V_{EA}
 H_A : Tirante Hidráulico (m)
 A_{sA2} : Área superficial 2ª cámara (m²)

- » Cálculo del ancho de la 2ª cámara:

$$a_{A2} = \frac{A_{sA2}}{L_p} = \frac{11.76 \text{ m}^2}{9.6 \text{ m}} = 1.23 \text{ m} \approx 1.2 \text{ m}$$

Donde:

a_{A2} : Ancho 2ª cámara (m)
 A_{sA2} : Área superficial 2ª cámara (m²)
 L_p : Largo de la cámara inicial del sedimentador primario (m)

- » Cálculo de la concentración de DBO efluente:

$$C_{DBO eA} = C_{DBO eP} * (1 - \%_{\text{remoción A}}) = 154 \text{ mg/l} * (1 - 0.8) = 30.8 \text{ mg/l}$$

Donde:

$C_{DBO eA}$: Concentración DBO en el efluente (mg/l)
 $C_{DBO eP}$: Concentración de DBO en el influente (mg/l)
 $\%_{\text{remoción A}}$: 80% de remoción expresado en fracción

2.5.3 Aereador por contacto secundario

- » Cálculo de la carga orgánica de DBO:

$$CO_{DBO AS} = C_{DBO eP} * Q_m = 0.03 \text{ kg/m}^3 * 100 \text{ m}^3/\text{d} = 3 \text{ kg/d}$$

Donde:

$CO_{DBO AS}$: Carga orgánica de DBO del reactor secundario (Kg/d)
 $C_{DBO eP}$: Concentración de DBO en el influente (Kg/m³)
 Q_m : Gasto Medio (m³/d)

- » Cálculo del volumen efectivo del reactor secundario:

$$V_{EAS} = \frac{CO_{DBOAS}}{CV_{DBOAS}} = \frac{3 \text{ kg/d}}{0.5 \text{ kg/m}^3 \text{ d}} = 6 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{EAS} : Volumen efectivo del reactor secundario (m^3)
 CO_{DBOAS} : Carga orgánica de DBO (Kg/d)
 CV_{DBOAS} : Carga volumétrica de DBO $= 0.5 \text{ kg/m}^3 \text{ d}$ (Recomendado)

- » Cálculo del volumen requerido del reactor secundario:

$$V_{RAS} = V_{EAS} * C_{VAS} = 6 \text{ m}^3 * 2 = 12 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{RAS} : Volumen requerido del reactor secundario (m^3)
 V_{EAS} : Volumen efectivo del reactor secundario (m^3)
 C_{VAS} : Factor de volumen adicional por infraestructura y relleno de grava igual a 2

- » Cálculo del área superficial del reactor secundario:

$$V_{EAS} = V_{RAS} * f_{VEAS} = 12 \text{ m}^3 * 1 = 12 \text{ m}^3$$

$$A_{sAS} = \frac{V_{EAS}}{H_{AS}} = \frac{12 \text{ m}^3}{3.35 \text{ m}} = 3.58 \text{ m}^2$$

Donde:

V_{EAS} : Volumen efectivo del reactor secundario (m^3)
 V_{RAS} : Volumen requerido del reactor secundario (m^3)
 f_{VEAS} : Fracción de volumen, 1 de V_{EAS}
 H_{AS} : Tirante Hidráulico (m)
 A_{sAS} : Área superficial del reactor secundario (m^2)

- » Cálculo del ancho del reactor secundario:

$$a_{AS} = \frac{A_{sAS}}{L_p} = \frac{3.58 \text{ m}^2}{9.6 \text{ m}} = 0.37 \text{ m} \quad 0.9 \text{ m}$$

Donde:

a_{AS} : Ancho del reactor secundario (m)
 A_{sAS} : Área superficial del reactor secundario (m^2)
 L_p : Largo de la cámara inicial sedimentador primario (m)

NOTA: En caso de que el valor de $a_{AS} < 0.9 \text{ m}$, se deberá adoptar un ancho mínimo de 90 cm.

- » Cálculo de la concentración de DBO efluente:

$$C_{DBOeAS} = C_{DBOeA} * (1 - \%_{\text{remoción}}) = 30.8 \text{ mg/l} * (1 - 0.35) = 20.02 \text{ mg/l}$$

Donde:

C_{DBOeAS} : Concentración DBO en el efluente (mg/l)
 C_{DBOeA} : Concentración de DBO en el influente (mg/l)
 $\%_{\text{remoción AS}}$: 35% de remoción expresado en fracción

2.5.4 Sedimentador secundario

- » Cálculo del volumen efectivo de la cámara:

$$V_{EF} = Q_m * T_{RF} = 100 \text{ m}^3/\text{d} * 1/5 \text{ d} = 20 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{EF} : Volumen efectivo de la cámara (m^3)
 Q_m : Gasto Medio (m^3/d)
 T_{RF} : Tiempo de retención (d)

- » Cálculo del volumen requerido de la cámara:

$$V_{RF} = V_{EF} * C_{VF} = 20 \text{ m}^3 * 1.5 = 30 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{RF} : Volumen requerido del sedimentador secundario (m^3)
 V_{EF} : Volumen efectivo del sedimentador secundario (m^3)
 C_{VF} : Factor de volumen adicional por infraestructura igual a 1.5

- » Cálculo del área superficial de la cámara:

$$A_{sF} = \frac{V_{RF}}{H_F} = \frac{30 \text{ m}^3}{3.3 \text{ m}} = 9.09 \text{ m}^2$$

Donde:

A_{sF} : Área superficial (m^2)
 V_{RF} : Volumen requerido de la cámara (m^3)
 H_F : Tirante hidráulico (m)

- » Cálculo del ancho de la cámara:

$$a_F = \frac{A_{sF}}{L_p} = \frac{9.09 \text{ m}^2}{9.6 \text{ m}} = 0.95 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$$

Donde:

a_F : Ancho de la cámara (m)
 A_{sF} : Área superficial de la primera cámara (m^2)
 L_p : Largo de la cámara inicial del sedimentador primario (m)

NOTA: En caso de que el valor de $a_F < 0.9 \text{ m}$, se deberá adoptar un ancho mínimo de 90 cm.

» Cálculo de la carga orgánica de DBO:

$$CO_{DBOF} = C_{DBO eAS} * Q_m = 0.02 \text{ kg/m}^3 * 100 \text{ m}^3/\text{d} = 2 \text{ kg/d}$$

Donde:

CO_{DBOF} : Carga orgánica de DBO (Kg/d)

$C_{DBO eAS}$: Concentración de DBO en el influente (Kg/m³)

Q_m : Gasto Medio (m³/d)

» Cálculo de la concentración de SS efluente:

$$C_{SS eF} = C_{SS eP} * (1 - \%_{\text{remoción}}) = 70 \text{ mg/l} * (1 - 0.8) = 14 \text{ mg/l}$$

Donde:

$C_{SS eF}$: Concentración SS del efluente (mg/l)

$C_{SS eP}$: Concentración SS del influente (mg/l)

$\%_{\text{remoción}}$: 80% de remoción expresado en fracción

2.5.5 Desinfección

» Cálculo del volumen efectivo:

$$V_{ED} = Q_m * T_{RD} = 100 \text{ m}^3/\text{d} * 0.01 \text{ d} = 1 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{ED} : Volumen efectivo en el tanque de desinfección (m³)

Q_m : Gasto medio en m³/d.

T_{RD} : Tiempo de retención (d)

» Cálculo del volumen requerido:

$$V_{RD} = V_{ED} * C_{VD} = 1 \text{ m}^3 * 1.5 = 1.5 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{RD} : Volumen requerido en el tanque de desinfección (m³)

V_{ED} : Volumen efectivo en el tanque de desinfección (m³)

C_{VD} : Factor de volumen adicional por infraestructura igual a 1.5

» Cálculo del área superficial:

$$A_{sD} = \frac{V_{RD}}{H_D} = \frac{1.5 \text{ m}^3}{2.0 \text{ m}} = 0.75 \text{ m}^2$$

Donde:

A_{sD} : Área superficial en el tanque de desinfección (m²)

V_{ED} : Volumen efectivo en el tanque de desinfección (m³)

H_D : Tirante hidráulico (m)

» Cálculo del ancho de la cámara:

$$a_D = \sqrt{\frac{A_{sD}}{1}} = \sqrt{\frac{0.75 \text{ m}^2}{1}} = 0.866 \text{ m} \approx 0.9 \text{ m}$$

Donde:

a_D : Ancho en el tanque de desinfección (m)

A_{sD} : Área superficial en el tanque de desinfección (m²)

» Cálculo del ancho de la cámara:

$$L_D = a_D = 0.9 \text{ m}$$

Donde:

L_D : Largo en el tanque de desinfección (m)

a_D : Ancho en el tanque de desinfección (m)

» Cálculo de la dosis de hipoclorito de calcio requerido:

$$W = \frac{Q_m * D_{Cl}}{\%_{Cl act}} = \frac{100 \text{ m}^3/\text{d} * 2 \text{ g/m}^3}{0.65} = 307.69 \text{ g/d}$$

Donde:

W: Hipoclorito de calcio requerido (g/d)

Q_m : Gasto medio en m³/d

D_{Cl} : Dosis de tableta de cloro activo = 2g/m³

$\%_{Cl act}$: Contenido en fracción de cloro activo en tableta de hipoclorito = 65%

2.5.6 Espesador de lodos

Los lodos producidos por la planta de tratamiento de aguas residuales de 100 m³/d, se transportarán a una planta de tratamiento de aguas residuales municipal que cuente con procesos de estabilización de lodos, para su disposición final.

2.5.7 Almacén de lodos

» Cálculo de sólidos producidos:

$$M_{SL} = \%_L * C_{SSi} * Q_m = 0.85 * 0.20 \text{ kg/m}^3 * 100 \text{ m}^3/\text{d} = 17 \text{ kg/d}$$

Donde:

M_{SL} : Masa de sólidos en lodos (Kg/d)

$\%_L$: Porcentaje de generación de lodos expresado en fracción. Para el proceso Doyoo Yookasoo el porcentaje de generación de lodos es del 85%

C_{SSi} : Concentración de SS en influente (Kg/m³)

Q_m : Gasto medio (m³/d)

» Cálculo del volumen de sólidos producidos:

$$V_{SL} = \frac{M_{SL}}{\delta_A * S_s * P_s} = \frac{17 \text{ kg/d}}{1000 \text{ kg/m}^3 * 1.005 * 0.1} = 0.17 \text{ m}^3/\text{d}$$

Donde:

V_{SL} : Volumen efectivo de sólidos en lodos (m³/d)

M_{SL} : Masa de sólidos en lodos (Kg/d)

δ_A : Densidad del agua, se tomara como referencia 1,000 kg/m³

S_s : Gravedad específica de los lodos. Para el proceso Doyoo Yookasoo se tomará el valor de 1.005

P_s : Porcentaje de sólidos, expresado como decimal. Para el proceso Doyoo Yookasoo este valor es 0.1

» Cálculo del volumen efectivo:

$$V_{EL} = V_{SL} * T_{RL} = 0.17 \text{ m}^3/\text{d} * 365 \text{ d} = 62.05 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{EL} : Volumen efectivo del almacén de lodos (m³)

V_{SL} : Volumen de sólidos en lodos (Kg/d)

T_{RL} : Tiempo de retención, para el almacén de lodos se considera 365 d.

» Cálculo del volumen requerido:

$$V_{RL} = V_{EL} * C_{VL} = 62.05 \text{ m}^3/\text{d} * 1.25 = 77.56 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{RL} : Volumen requerido del almacén de lodos (m³)

V_{EL} : Volumen efectivo del almacén de lodos (m³)

C_{VL} : Factor de volumen adicional por infraestructura igual a 1.25

» Cálculo del área superficial:

$$A_{sL} = \frac{V_{RL}}{H_L} = \frac{77.56 \text{ m}^3}{3.0 \text{ m}} = 25.85 \text{ m}^2$$

Donde:

A_{sL} : Área superficial del almacén de lodos (m²)

V_{RL} : Volumen requerido del almacén de lodos (m³)

H_L : Tirante hidráulico (m)

» Cálculo del ancho de la cámara:

$$a_L = \sqrt{\frac{A_{sL}}{3}} = \sqrt{\frac{25.85 \text{ m}^2}{3}} = 2.94 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$$

Donde:

a_L : Ancho del almacén de lodos (m)

A_{sL} : Área superficial del almacén de lodos (m²)

» Cálculo del largo de la cámara:

$$L_L = 3a_L = 3 * 3 \text{ m} = 9 \text{ m}$$

Donde:

L_L : Largo del almacén de lodos (m)

a_L : Ancho del almacén de lodos (m)

2.5.8 Sopladores

» Cálculo del flujo de aire:

$$S_A = CO_{DBO A} * C_A = 15 \frac{\text{kg}}{\text{d}} * 90 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 1350 \text{ m}^3/\text{d}$$

Donde:

S_A : Flujo suministrado de aire requerido por el aereador primario (m³/d).

$CO_{DBO A}$: Carga orgánica de DBO del reactor primario (Kg/d).

C_A : 90m³/Kg DBO: volumen de aire recomendado para el aereador primario.

$$S_{AS} = CO_{DBO AS} * C_{AS} = 3 \frac{\text{kg}}{\text{d}} * 90 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 270 \text{ m}^3/\text{d}$$

Donde:

S_{AS} : Flujo suministrado de aire requerido por el aereador secundario (m³/d).

$CO_{DBO AS}$: Carga orgánica de DBO del reactor secundario (Kg/d).

C_A : 90m³/Kg DBO: volumen de aire recomendado para el aereador secundario.

$$S_T = S_A + S_{AS} = 1350 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} + 270 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 1620 \text{ m}^3/\text{d}$$

Donde:

S_T : Flujo suministrado de aire total en reactor biológico (m³/d)

$$S_s = \frac{S_T}{\#_E} = \frac{1620 \text{ m}^3/\text{d}}{2} = 810 \text{ m}^3/\text{d}$$

Donde:

S_s : Flujo suministrado de aire por equipo (m³/s)

$\#_E$: Número de equipos suministradores de aire.

» Cálculo de la potencia del equipo de soplado:

$$Po = \left(\frac{S_s * P_A}{\%_{\text{torque}}} \right) * 0.001 =$$

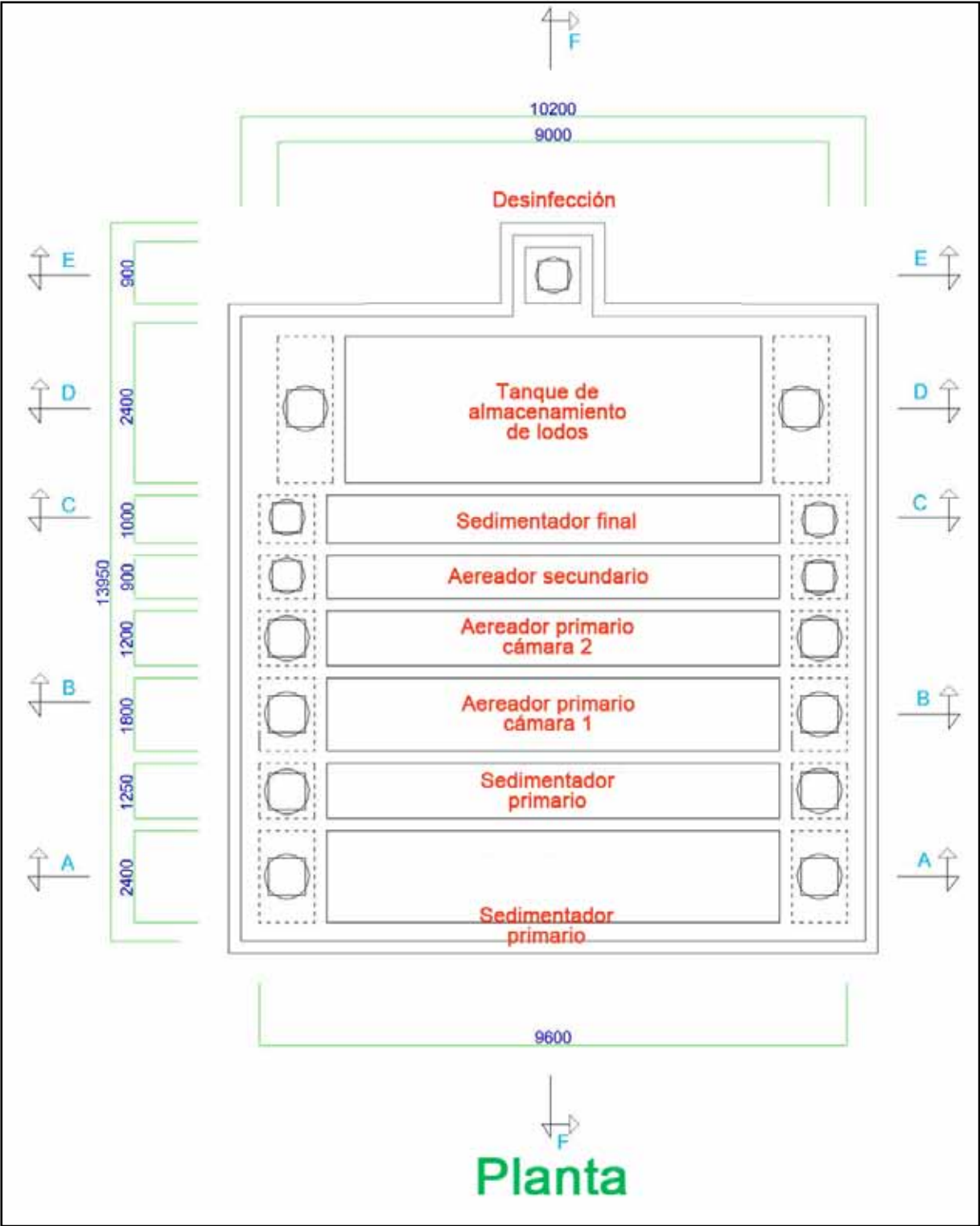
$$\left(\frac{0.0094 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 39240 \text{ Pa}}{0.6} \right) * 0.001 = 0.61476 \text{ Kw}$$

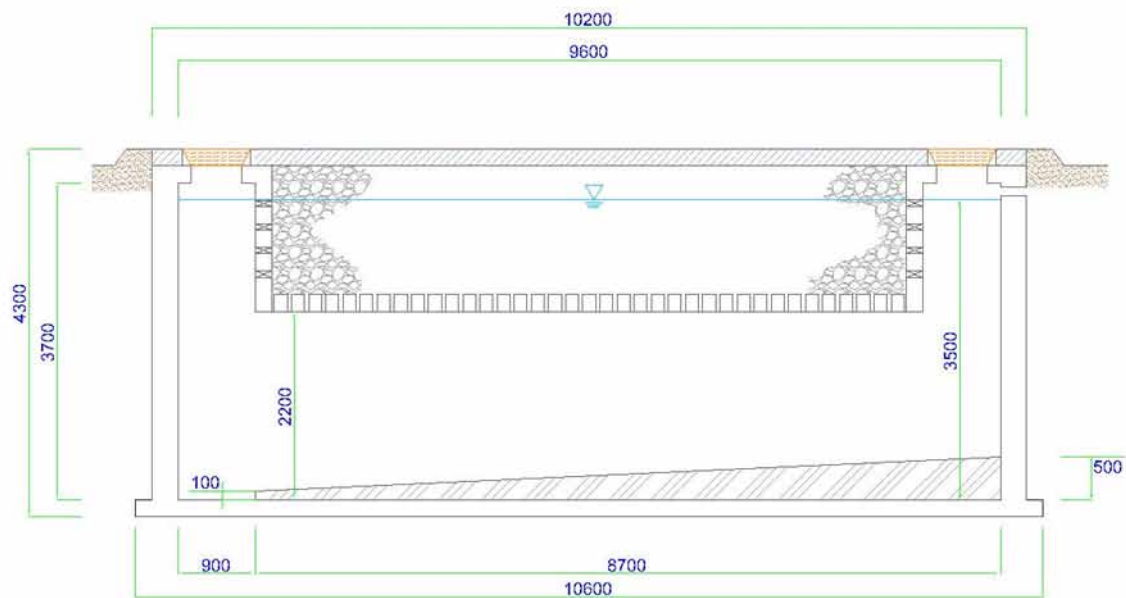
Donde:

Po : Potencia del equipo de soplado (Kw)

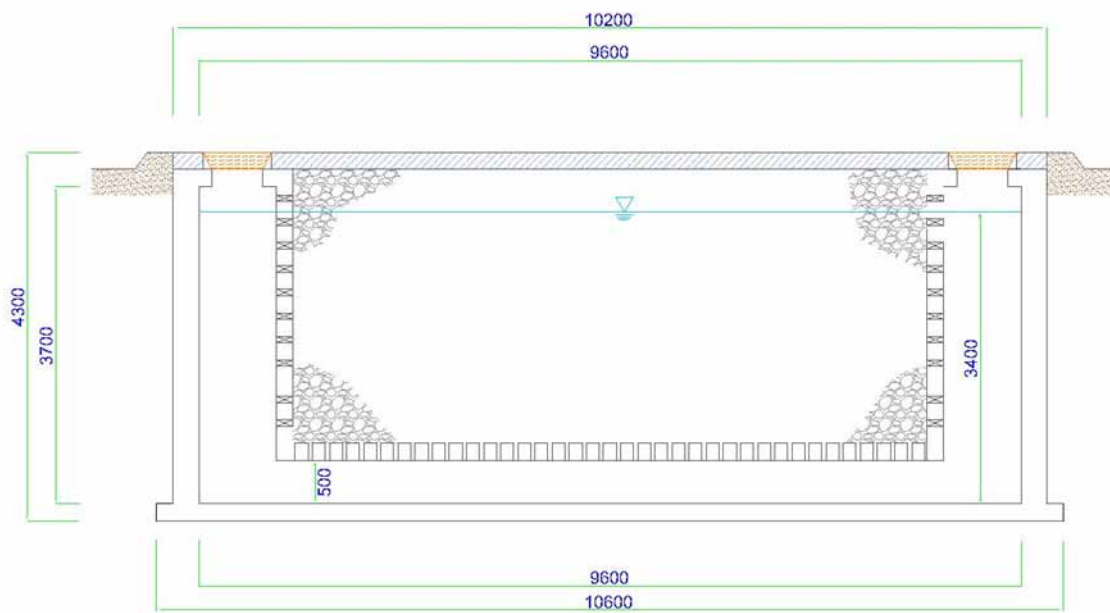
$\%_{\text{torque}}$: Porcentaje en fracción de la capacidad total del equipo igual a 60%

P_A : Presión ejercida de agua (Pa)

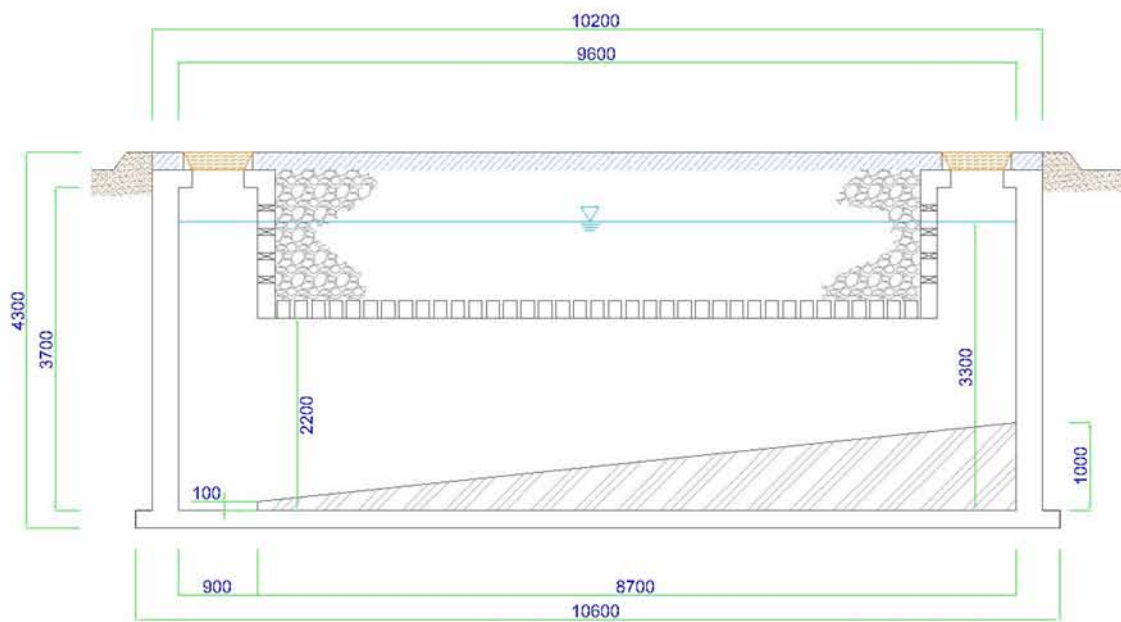




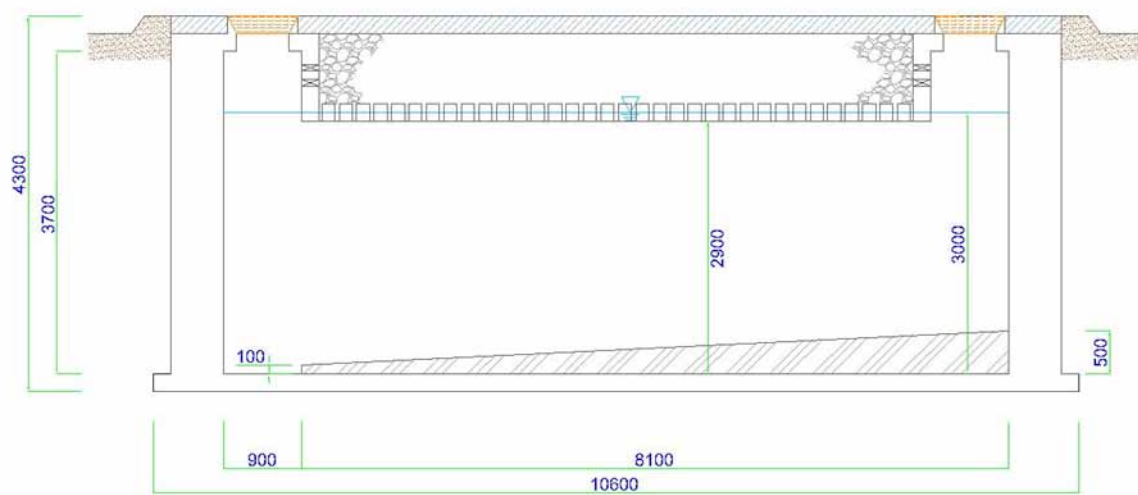
CORTE A-A



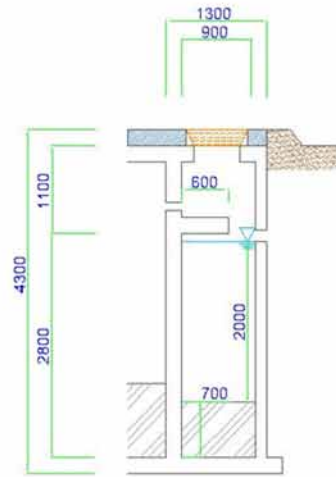
CORTE B-B



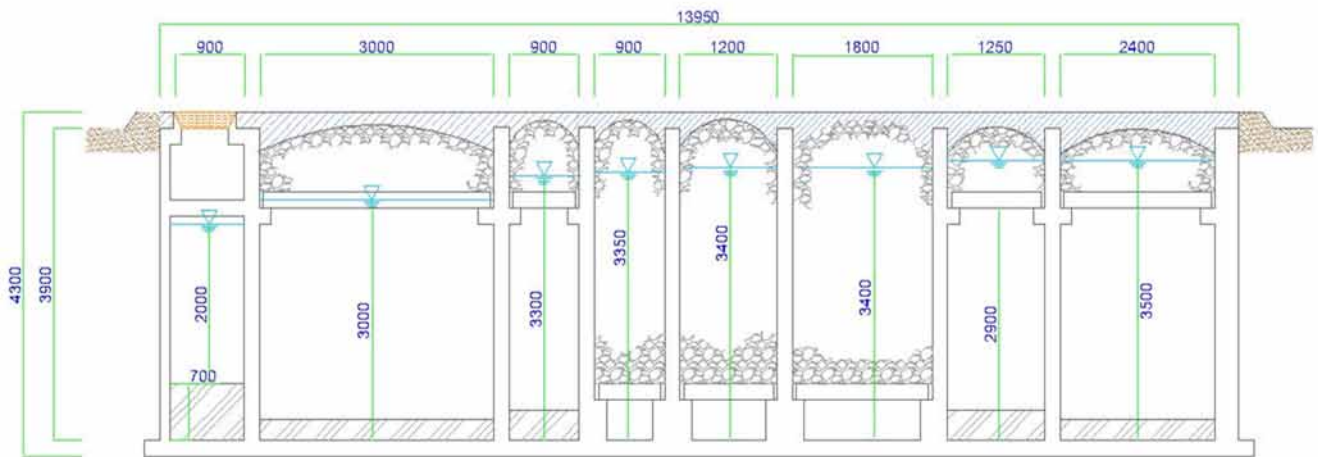
CORTE C-C



CORTE D-D



CORTE E-E



CORTE F-F

2.6 Compendio de fotografías del proceso constructivo



Fotografía No. 19 Trazo y nivelación de obra



Fotografía No. 20 Perforación para tablaestacado y estabilización de bordos



Fotografía No. 21 Tabla estacado



Fotografía No. 22 Excavación para desplante



Fotografía No. 23 Armado de acero de refuerzo en cimentación



Fotografía No. 24 Armado de acero de refuerzo en muros



Fotografía No. 25 Armado de acero de refuerzo en muros intermedios



Fotografía No. 26 Armado de acero de refuerzo en losas



Fotografía No. 27 Colado de concreto en losas



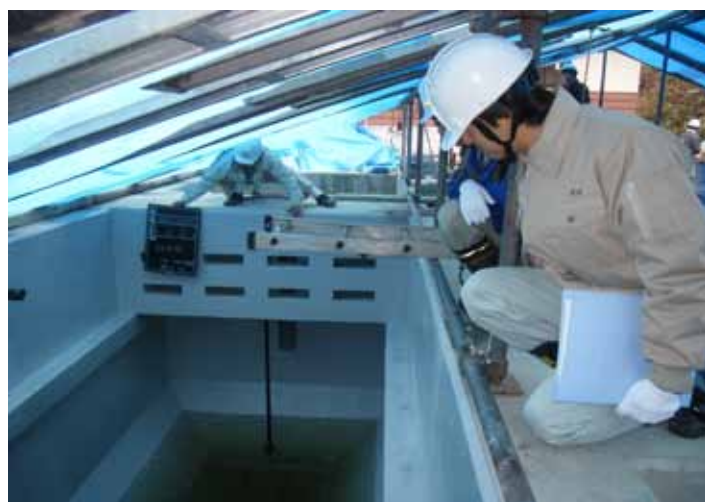
Fotografía No. 28 Pruebas de hermeticidad de tanques con agua



Fotografía No. 29 y No. 30 Pruebas del sistema de distribución de aire en sedimentadores



Fotografía No. 31 y No. 32 Pruebas del sistema de distribución de aire en reactor biológico



Fotografía No. 33 y No. 34 Pruebas del sistema de distribución en reactor biológico



Fotografía No. 35 Colocación de traves de soporte



Fotografía No. 36 Arreglo de traves de soporte



Fotografía No. 37 Trabe de soporte instalada



Fotografía No. 38 Distribución de grava de contacto



Fotografía No. 39 Transporte de grava de contacto



Fotografía No. 40 Limpieza de grava



Fotografía No. 41 Instalación y llenado con grava de contacto



Fotografía No. 42 Colocación de grava



Fotografía No. 43 Cubierta final de grava



Fotografía No. 44 Colocación de malla



Fotografía No. 45 Verificación de correcta colocación de malla



Fotografía No. 46 Colocación de cubierta vegetal



Fotografía No. 47 Relleno con cubierta vegetal



Fotografía No. 48 Nivelación de cubierta vegetal



Fotografía No. 49 Comprobación de espesor de tierra



Fotografía No. 50 Obra terminada

2.7 Estimación de costos

2.7.1 Obras y equipamiento (ejemplo de Japón)

Sistema de tratamiento	Proceso: Reactor biológico	
Caudal promedio diario	40 m ³ /d	0.5 l/s
Población objeto del proyecto	200 habitantes	
Superficie del proyecto	99 m ² (9 m × 11 m)	
Costos	Millones de Yenes	Millones de pesos
1.- Obra Civil		
Conducto del Influyente	1	0.15
Tanque	7	1.05
Conducto del Efluente	2	0.29
Subtotal	10	1.49
2.- Obra de Construcción		
Edificio Control	5	0.75
Subtotal	5	0.75
3.- Instalación de la maquinaria		
Subtotal	20	2.99
4.- Instalación eléctrica		
Subtotal	10	1.49
Total	45	6.72

2.7.2. Operación y mantenimiento, (costos de Japón)

- a. Energía eléctrica

Cálculo base	Yen/Kwh	Pesos/Kwh
Tarifa	20.0	3.0

Energía eléctrica: Soplador 1.5 kw	
Concepto	Base de cálculo
Tiempo de operación = 24 hr	(1.5 kwh) (24 h/día) (20 yen/kwh) (365 día/año) = 262,800 yenes/año = (39,225.00 pesos/año)

- b. Dosificación química

Concepto	Base de cálculo
Tableta de hipoclorito de calcio (600 yenes/kg $\approx$ 90 pesos/kg)	(40 m ³ /día) (2 mg/l) (103 l/m ³) (1 kg/106 mg) = 0.080 kg/día (0.08 kg/día) (600 yen/kg) (365 día) = 17,520 yenes/año (2,615.00 pesos/año)
Agua potable (270 yenes/m ³)	(0.15 m ³ /día) (270 yen/m ³) (365 día) = 14,785 yenes/año (2,205 peso/año)
Total	(17,520 yen/año) + (14,785mil yen/año) = 32,305 yenes/año (4,820 pesos/año)

- c. Otros

Concepto	Base de cálculo
Transporte de lodos secos	(0.012 ton/día) (365 día/año) (10,050 yen/ton)= 44,020 yen/año (6,570 pesos/año)
Análisis de agua (parámetros de control)	(10,050 yen/muestra) (2 muestras/mes)(12 meses/año) = 241,200 yen/año (36,000 pesos/año)
Mano de obra	(20,100 yen/operador)(2 operadores/mes)(12 meses/año) = 482,400 yen/año (72,000 pesos/año)
Total	(44,020 yen/año)+(241,200 yen/año)+(482,400 yen/año)=767,620 yen/año (6,575 pesos/año)+(36,000 pesos/año)+(72,000 pesos/año)=114,575 pesos/año
Suma	(262,800 yen/año)+(32,305 yen/año)+(767,620 yen/año)=1'062,725 yen/año (39,225 pesos/año)+(4,820 pesos/año)+(114,575 pesos/año)=158,620 pesos/año

Tipo de cambio considerado: 1 peso = 6.7 yenes

2.8 Método de operación y mantenimiento

2.8.1 Aspectos generales

a. Mantenimiento

Para realizar los trabajos de mantenimiento se tienen que conocer a profundidad las memorias de cálculo, los planos de las diferentes unidades de tratamiento de aguas residuales, estructuras, volúmenes, tipo de equipos y funcionamiento, ya que esto es básico para proporcionar un mantenimiento apropiado.

Los manuales de operación indican procedimientos concretos para que la planta desempeñe las funciones establecidas en el diseño; las personas a cargo tienen que comprender completamente los métodos sobre la operación de los equipos, mantenimiento, reparación, ajuste y las medidas que se deben tomar en el momento de algún desperfecto.

b. Inspección de la instalación

La inspección se realiza para detectar anomalías y averías al revisar el estado de funcionamiento de equipos y máquinas y, por ende, el estado operativo de la instalación en su conjunto. La inspección en la instalación es importante ya que, en una etapa muy temprana, se pueden identificar situaciones anómalas y equipos averiados, para tomar las medidas apropiadas antes de que estos problemas se hagan grandes. El tomar medidas preventivas rápidamente permite mantener el funcionamiento normal de la planta. Por lo tanto, la inspección se hace rutinariamente.

La inspección de equipos y dispositivos se lleva a cabo de manera integral. Se revisa la calidad del agua residual registrada para cada unidad; se confirma la calidad del agua que se transfiere de un tanque a otro; y se mide la calidad del efluente que se descarga de la planta; se observa el funcionamiento de los tanques de aguas residuales.

A medida que se repite la inspección se hace más fácil descubrir los equipos donde se presentan anomalías y averías. La acumulación de datos de este tipo facilitará las medidas preventivas; hay que reunir los resultados de la inspección rutinaria para aprovecharlos debidamente.

c. Mantenimiento de la instalación

El mantenimiento del DoyooYookasoo lo realiza un técnico. Los principales trabajos son: llenado de grasa, cambio de aceite, limpieza o cambio de filtros de aire de sopladores, ajustes de sellos hidráulicos y mecánicos de bombas, así como el suministro del material de desinfección.

d. Reparación de la instalación

Si al realizar la inspección de DoyooYookasoo se descubre alguna anomalía o avería, y si estas averías están dentro de la responsabilidad del técnico o constructor, se hará la reparación inmediata.

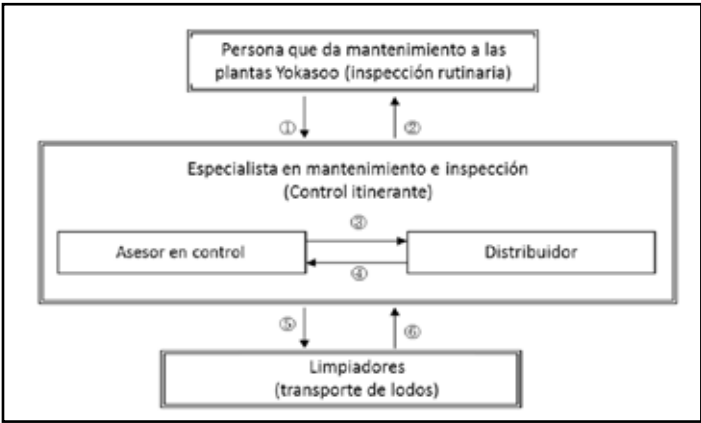
Si estas anomalías y averías están fuera de su responsabilidad, el técnico o encargado de la operación realizará la reparación con el consenso de las personas involucradas; el técnico podrá supervisar los trabajos de reparación.

e. Ajuste de la instalación en su conjunto

Los rangos de diseño tienen una holgura más o menos grande en cuanto al volumen y concentración de DBO; por lo tanto, la producción de lodos es poca y se pueden reducir las horas de funcionamiento de las bombas de extracción de lodos, instaladas en los tanques sedimentadores. Por otra parte, la gran mayoría de los gastos de energía eléctrica proviene de los consumos de electricidad de los sopladores. Es posible reducir el consumo de electricidad al utilizar inversores de acuerdo con la carga del influente. Es necesario ajustar, según el estado de uso, el tiempo de funcionamiento de la bomba de lodos en los tanques sedimentadores y almacenador de lodos.

f. Limpieza de la instalación

Una planta de tratamiento de aguas negras, por su naturaleza de tratamiento de materias sucias, tiende a ser considerada como una instalación no higiénica, sobre todo, por las personas externas. Especialmente en el momento de la limpieza, tenemos que tomar en cuenta esta percepción que tienen los vecinos. De todos los trabajos de la planta de tratamiento de aguas negras, la limpieza del tanque, que incluye la extracción de lodos es el más importante. El contenido específico de los trabajos difiere dependiendo de la escala de la planta de tratamiento. De todos modos, la persona que realice este trabajo tiene que ser una persona que realmente esté acostumbrada a una planta del tipo Doyoo Yookasoo. Los trabajos de extracción de lodos serán realizados por técnicos muy hábiles (capacitados) para este tipo de trabajos. Veremos con mayor detalle los trabajos de extracción de lodos, más adelante.



1. Contrato de prestación de servicios
2. Informe
3. Asesoría en el control
4. Informe sobre el estado de control
5. Indicación y supervisión del contenido de trabajo
6. Informe del trabajo

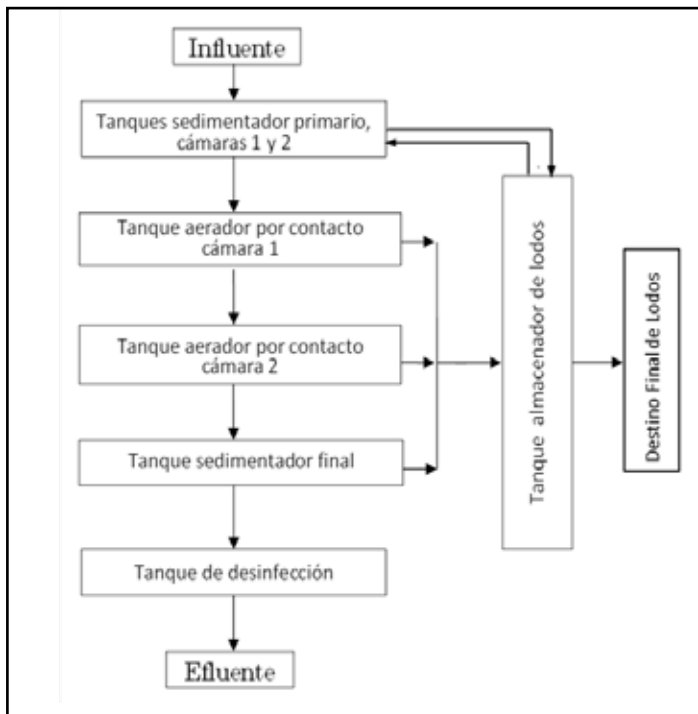
Estructura conceptual, (ejemplo de Japón)

2.8.2 Operación y mantenimiento

- Resumen de proceso
 - a. Objeto de tratamiento: aguas residuales domésticas y municipales.
 - b. Método de tratamiento:
 - Método sedimentador con recubrimiento de suelo.
 - Método de aireación por contacto con recubrimiento de suelo.
 - Los lodos serán almacenados en el tanque de almacenamiento, después deshidratados y transportados al sitio de disposición.
 - c. Caudal de agua residual sujeta a tratamiento.
 - d. Calidad de aguas influente y efluente.

Parámetro	Calidad del agua influente.	Calidad del agua efluente.	Eficiencia de remoción.
DBO	200 mg/l	30 mg/l	85.0%
SS	200 mg/l	30 mg/l	85.0%

e. Proceso de tratamiento:



f. Método de operación y mantenimiento de cada uno de los equipos unitarios

Los equipos principales de la planta están provistos de relevadores de secuencia integrados; están diseñados para operar todo el sistema automáticamente. Para esto, están instalados medidores de niveles y de control. Como medida de seguridad, existen indicadores para nivel anormal de agua y detectores de sobrecarga. Por otra parte, los equipos principales pueden ser operados de manera independiente y en forma manual, para poder reaccionar frente a una avería, además se tienen equipos de reserva.

A continuación se explican, de manera general, procedimientos de operación y mantenimiento de los equipos de cada unidad. Sobre los detalles se deben consultar los instructivos y planos eléctricos de cada equipo.

- Sedimentador primario

La inspección en el tanque sedimentador se centra en la revisión del atascamiento o taponamiento en los tubos de conducción de lodos así como en la acumulación de flóculos y sedimentos en el fondo. Los lodos sedimentados se miden bajando por el registro, el sensor del medidor portátil de densidad de lodos. Cuando los lodos sedimentados alcancen una tercera parte (1/3) de la profundidad del tanque, desde el fondo, es el momento de realizar la extracción de lodos empleando la maniobra denominada “retrolavado del tanque sedimentador”, la cual se describe a continuación:

- » Retrolavado del tanque sedimentador

Se baja el sensor del medidor de densidad de lodos a través del registro; si los lodos sedimentados alcanzan una altura de

una tercera parte (1/3) de la profundidad, desde el fondo del tanque, se procede a realizar el retrolavado.

El procedimiento para retrolavar el tanque sedimentador será el siguiente:

Se ajustan las válvulas para que todo el aire de un módulo se concentre en el tanque donde se va a realizar el retrolavado.

El retrolavado se realiza, el agua sucia se envía al tanque almacenador de lodos por medio de una bomba de transferencia.

Cuando el nivel de agua en el tanque llega a reducirse hasta una tercera parte (1/3) de la profundidad del tanque, se cierran las válvulas del aire.

- Reactor biológico

El aire se suministra al tanque de aireación por contacto por medio del soplador; se tienen dos sopladores, uno en operación y el otro de reserva. La operación es automática, con un temporizador. Si se presentan anomalías en el soplador que se opera, por una sobrecarga o fuga eléctrica, se para el soplador averiado y entra a operar el de reserva.

Se usa el medidor de flujo de aire tipo placa de orificio para ajustar el volumen de aire que se envía del soplador al tanque de aireación; el flujo de aire que va a las dos cámaras del tanque de aireación se ajusta separadamente. Para ajustar el volumen real de aire al volumen de diseño, se dejan totalmente abiertas todas las válvulas y, después, se van cerrando las válvulas en los lugares necesarios. En el momento de inspección, se revisa el amperímetro y el manómetro del soplador, y se mide el flujo de aire enviado a cada uno de los tanques.

- » Ajuste de volumen de aireación

Primero se abren completamente las válvulas de los tubos de aire que hay en cada uno de los tanques; la distribución del flujo se realiza con la válvula instalada en el cabezal del soplador. El aire que se envía a cada uno de los tanques de aireación se distribuye a través de las tuberías que derivan del cabezal del soplador. En el caso de esta planta el cabezal tiene un solo tubo de aire. El ajuste del flujo de aire se realiza con cada una de las válvulas de los ramales observando el medidor de flujo de aire en cada caso.

- » Retrolavado de cada uno de los tanques y extracción de lodos

Hacer el retrolavado siempre en un solo tanque.

Abrir las válvulas del tubo de lodo del tanque objeto de retrolavado (siempre deben estar cerradas), y realizar el retrolavado, transfiriendo el agua sucia al tanque de almacenamiento de lodos, a través de la bomba de transferencia.

Al terminar el retrolavado, cerrar las válvulas del tubo de lodo.

Enviar al tanque espesador los lodos sedimentados en el tanque de aireación por contacto.

Cuando el nivel de aire del tanque de aereación por contacto se normaliza, ajustar el suministro de aire.

- Desinfección

Se mide periódicamente la concentración de cloro residual; de ser necesario, se ajusta la apertura de la compuerta del cilindro del desinfectante. Se registra el volumen restante del desinfectante de cloro; si se requiere se agrega desinfectante. Se inspecciona la existencia de flóculos y sedimentos de lodos en el tanque, de existir se procede a limpiar el tanque.

- Almacenamiento de lodos

Si en el momento de inspección se observa la producción de flóculos, el agua se agita con el difusor de aire para romper los flóculos. Dependiendo de la situación, hay que transportar los lodos antes de que ocurra el rebose de lodos.

g. Mantenimiento e inspección

El mantenimiento e inspección se debe realizar de acuerdo con lo establecido en el manual de mantenimiento; además, se deben realizar 4 monitoreos al año de la calidad del agua residual, para revisar la capacidad de tratamiento. Se deben realizar mediciones periódicas de transparencia, turbiedad, pH, temperatura del agua y OD, registrando los resultados en la bitácora de operación así como en las hojas de reporte de la operación. En cuanto al monitoreo de la calidad del agua y su descarga se deben observar las leyes y reglamentos aplicables.

h. Frecuencia de inspección

La planta se debe inspeccionar, al menos, una vez cada semana.

i. Mantenimiento de equipos

Se debe realizar la inspección de los equipos anotando lo observado en la bitácora de operación y en las hojas de control y mantenimiento de cada equipo. En los casos en que se detecten problemas de funcionamiento del equipo deberá llenarse el reporte correspondiente, además de dar parte al encargado de la planta. Entre las actividades rutinarias se encuentran: engrasado de los baleros o rodamientos de sopladores y bombas; revisión del nivel de aceite y su apariencia; llenado o cambio de aceite; y ajuste operativo de sellos mecánicos e hidráulicos, entre otras actividades.

j. Otros

- Control rutinario

El control rutinario de dispositivos lo realizará el administrador o encargado de la planta de tratamiento.

- Chequeo de la vista externa de las instalaciones

Césped quemado: en verano, se torna amarillo por la sequía, por lo que se debe regar con agua.

Fetidez: Si los tanques no están cubiertos de suelo con césped, aparecen grietas en el suelo y se escapan malos olores por estas grietas. Para evitar esto se planta césped o se cubre con tierra ablandando el suelo alrededor de las grietas y se riega con agua. Por otra parte, la producción de malos olores puede tener otras causas; es muy importante una observación cuidadosa cuando se percibe el olor proveniente de la planta.

Como un complemento a los conceptos de revisión, actividades o acciones a realizar, para resolver la problemática operativa y mantenimiento, se anexan los siguientes cuadros donde también se consideran las unidades de proceso:

Concepto de mantenimiento e inspección	Actividades
1. Inspección alrededor de la planta de tratamiento de aguas residuales	
a. Malos olores alrededor de la planta de tratamiento	La existencia de malos olores y su nivel deben ser percibidos en el momento de la llegada a la planta, ya que con el paso del tiempo el sentido del olfato reduce su sensibilidad, por lo que ya no se percibe o se subvalúa el grado del olor. Debe tenerse cuidado con la diferencia de sensibilidad que tienen los habitantes hacia los malos olores, entre la mañana y la noche, cuando en las casas se utilizan retretes con frecuencia y las horas del día, y cuando no es tan frecuente el uso de retretes. Dependiendo del tipo de construcción la sensibilidad cambia y no necesariamente coincide con el momento de llegada a la planta de tratamiento. Es recomendable realizar estudios entre los habitantes, cercanos en cuanto a malos olores, y comparar sus opiniones sobre la percepción hacia el olor del momento de la llegada para evaluar la situación real.
b. Ruidos anormales	Para distinguir ruidos anormales es necesario conocer los ruidos que producen los motores y sopladores cuando están en operación normal. Si se perciben ruidos anormales, se requiere inspeccionar para distinguir si es un problema de los equipos, como un motor o un soplador, o es un problema de la instalación. En cuanto a ruidos anormales, también es recomendable juzgar si son normales o anormales, en el momento de la llegada a la planta.
c. Hundimiento o levantamiento del terreno de la planta o su alrededor	Si se observa hundimiento o levantamiento del suelo de la planta de tratamiento o de sus instalaciones accesorias, es necesario distinguir si es por las obras deficientes, como los movimientos de tierra con base deficiente o del relleno, o es producido por otras causas.
d. Uso de tierra del entorno de la planta de tratamiento	El entorno de la planta significa la parte externa de las unidades de tratamiento y el espacio que se utiliza para el estacionamiento y el depósito de materiales. Cuando estos usos no fueron planeados desde el principio, se debe confirmar si esto no dificulta los trabajos de mantenimiento ni obstruye la salida de ventilación; si hubiera que tomar alguna precaución para su uso, hay que presentar las recomendaciones correspondientes.
e. Estado hermético de las tapas de registros	Se debe verificar el estado hermético de las tapas de los registros a través del mantenimiento e inspecciones periódicas y de trabajos de limpieza. Hay que comprobar si la inspección ha sido suficiente y/o no se ha presentado una hermeticidad insuficiente por deformación o desgaste. Si se encuentran señales de que las tapas fueron abiertas con frecuencia fuera de las razones de mantenimiento se debe cambiar a una tapa con tornillos para prevenir el riesgo.

Concepto de mantenimiento e inspección		Actividades
2. Inspección de equipos		
Tamiz grueso	a. Mantenimiento rutinario • Checar alarma y comunicación con el responsable del mantenimiento. • Comunicación con los responsables del mantenimiento sobre malos olores y otras anormalidades. b. Control itinerante • Inspección de la producción de flotantes y sedimentos arenosos c. Limpieza • Limpieza de canales y del tamiz	Cuando se observen residuos adheridos al tamiz, proceder a eliminarlos.
Sedimentador y separador	a. Mantenimiento rutinario • Checar la presencia de anormalidades extraordinarias. b. Control itinerante • Checar las señales de aumentos anormales del nivel de agua. • Inspeccionar objetos extraordinarios en las áreas de transferencia. • Inspeccionar flóculos y los lodos sedimentados. • Realizar el análisis in situ de la calidad del agua (aspecto visual, temperatura, malos olores, turbiedad, pH). c. Limpieza • Enviar la totalidad de los flóculos y el volumen apropiado de lodos sedimentados al tanque de almacenamiento de lodos, utilizando la bomba de lodos	
Aireación por contacto	a. Mantenimiento rutinario • Comunicar al responsable de mantenimiento cuando suena la alarma de sopladores. b. Control itinerante • Confirmar el volumen de aire suministrado. • Realizar el análisis in situ de la calidad del agua (aspecto visual, malos olores, temperatura, pH, turbiedad). • Inspección del incremento del nivel de agua. • Medir el OD en las diversas áreas del tanque. • Inspeccionar el estado de crecimiento de películas biológicas en diferentes áreas del material de contacto. • Inspeccionar el estado de sedimento de lodos en el fondo del tanque.	
Desinfección	a. Mantenimiento rutinario b. Control itinerante • Adicionar desinfectante. • Realizar el análisis in situ de la calidad del agua, (cloro remanente). • Inspeccionar flóculos y lodos sedimentados.	
Almacenamiento de lodos	a. Mantenimiento rutinario b. Control itinerante • Inspeccionar producción de flóculos y lodos sedimentados. • Confirmar la generación de malos olores. c. Limpieza • Deshidratar los lodos.	

Nomenclatura y equivalencias

cm = centímetro, 1 cm = 0.01 m

d = día, 1 d = 86400 s

g = gramo, 1 g = 1000 mg

h = hora, 1 h = 60 min

hab = habitantes

kg = kilogramo, 1 kg = 1000 g

kg DBO/d= Kilogramo de DBO por día

kg/l = kilogramo por litro, 1 kg/l = 1000 g/l

L, l = litro, 1 L = 1000 ml

L/s, l/s = litro por segundo, 1 l/s = 0.001 m³/s

m = metro, 1 m = 0.001 m³

m³ = metro cúbico, 1 m³ = 1000 l

m³/s = metro cúbico por segundo, 1 m³/s = 1000 l/s

mm = milímetro, 1 mm = 0.001 m

mg = miligramo, 1 mg = 0.001 g

mg/l = miligramo por litro, 1 mg/l = 0.001 kg/m³

ml = mililitro, 1 ml = 0.001 l

min = minuto, 1 min = 60 s

s = segundo

Pa = Pascal, 1Pa = kg/ms²

w = watt, 1 w = 1 m² kg/s³

Glosario de términos

- **Aireación del agua.** Término para definir la acción de airear, ventilar o inyectar aire al agua cuyo efecto da lugar a la disolución de una pequeña parte de oxígeno en el agua (OD).
- **Aguas residuales.** Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.
- **Aportación de aguas residuales.** Se designa al volumen de aguas residuales que genera cada persona en forma diaria, se define en l/hab/d.
- **Biosfera.** Biósfera o biosfera es el sistema material formado por el conjunto de los seres vivos propios del planeta Tierra, junto con el medio físico que les rodea y que ellos contribuyen a conformar. Este significado de “envoltura viva” de la Tierra, es el de uso más extendido, pero también se habla de biosfera a veces para referirse al espacio dentro del cual se desarrolla la vida, también la biosfera es el conjunto de la litósfera, hidrósfera y la atmósfera.
- **Capilaridad.** La capilaridad es una propiedad de los líquidos que depende de su tensión superficial la cual, a su vez, depende de la cohesión o fuerza intermolecular del líquido y que le confiere la capacidad de subir o bajar por un tubo capilar.
- **Coeficiente de aportación.** Es la relación entre Aportación de Aguas Residuales y Dotación de Agua Potable, la cual varía entre 0.7 y 0.8
- **Cobertura de agua potable.** Porcentaje de la población que habita en viviendas particulares que cuenta con agua entubada dentro de la vivienda, dentro del terreno o se abastece de una llave pública o hidrante.
- **Cobertura de alcantarillado sanitario.** Porcentaje de la población que habita en viviendas particulares, cuya vivienda cuenta con un desagüe conectado a la red pública de alcantarillado sanitario, a una fosa séptica, a un río, lago o mar, o a una barranca o grieta.
- **Cuerpo receptor.** La corriente o depósito natural de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, tratadas o no así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas, cuando puedan contaminar los suelos, el subsuelo o los acuíferos.
- **Dotación de agua potable.** Volumen de agua potable suministrado a los habitantes por día, l/hab-d.
- **DBO₅.** Demanda bioquímica de oxígeno determinada en el laboratorio en cinco días, expresada en mg/l.
- **DQO.** Demanda Química de Oxígeno, expresada en mg/l.
- **Efecto capilar.** Cuando un líquido sube por un tubo capilar (de muy pequeño diámetro), es debido a que la fuerza intermolecular o cohesión intermolecular entre sus moléculas es menor que la adhesión del líquido con el material del tubo; es decir, es un líquido que moja. El líquido sigue subiendo hasta que la tensión superficial es equilibrada por el peso del líquido que llena el tubo. Éste es el caso del agua, y esta propiedad es la que regula parcialmente su ascenso dentro de las plantas, sin gastar energía para vencer la gravedad.
- **Efecto de capilaridad.** Movimiento de un líquido como el agua en o a través de los intersticios del suelo u otros materiales porosos, como resultado de la tensión superficial.
- **INEGI.** Instituto Nacional de Estadística y Geografía (antes, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática).
- **Localidad rural.** Localidad con población menor a 2500 habitantes, que no es cabecera municipal.
- **Lixiviación.** La separación implica, normalmente, la disolución selectiva, pero en el caso extremo del lavado simple, consiste sólo en el desplazamiento de un líquido intersticial por otro, con el que es miscible. El constituyente soluble puede ser sólido o líquido y estar incorporado, combinado químicamente o adsorbido, o bien mantenido mecánicamente, en la estructura porosa del material insoluble.
- **NMP/100 ml.** Unidad o número probabilístico en que se determina la presencia estadística de organismos coliformes determinados como Escherichia Coli en aguas contaminadas, pueden ser totales o fecales.
- **Organismo operador.** Entidad encargada y responsable de proporcionar a una localidad los servicios del suministro de agua potable, de alcantarillado sanitario y saneamiento.
- **Oxígeno disuelto.** Elemento químico disuelto en el agua residual, cuya concentración se mide en mg/l.
- **Pedósfera.** Es la capa más exterior de la Tierra, que está compuesta de suelo y está sujeta a los procesos de formación del suelo.
- **Reuso.** La explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales con o sin tratamiento previo.
- **Sólidos suspendidos totales (SST).** Partículas sólidas presentes en un líquido como el agua residual donde su concentración es expresada en mg/l.
- **Saneamiento.** Recolección y transporte del agua residual y el tratamiento tanto de ésta como de los subproductos generados en el curso de esas actividades, de forma que su evacuación produzca el mínimo impacto en el medio ambiente.

Referencias bibliográficas

- Conagua. (2011). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre de 2010*, Mexico.
- Conagua. (2010). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS)*. México.
- INEGI, *Censo de Población y Vivienda de 2010*. México, 2011.
- Yahata, Toshio. (1987), *Doyoo Yooka Jou no Jissai*, Japón.
- Yahata, Toshio. (1987), *Ninnegenno Inochiwo Sasaeru Tsuchi*, Japón.
- Kimura, Hiroko. (s.f.), *Doyoo Yooka Jou*, Japón.

La Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) por sus siglas en inglés, a través del “Acuerdo sobre Cooperación Técnica entre el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos y el Gobierno de Japón” (ACT) apoyó parcialmente en la elaboración de esta obra, proporcionando la bases de la tecnología japonesa del sistema de tratamiento Doyoo Yokasoo para plantas de pequeña escala.

Naoki Kamijo

Norio Yonezaki

Miki Sekiguchi

Shinya Kudo

Yasuhito Kimura

Raquel Verduzco

Esta publicación es el resultado de la “Asesoría para la implementación de proyectos emblemáticos asociados al agua, sobre tratamiento de aguas residuales a pequeña escala” establecida en el ACT. Su contenido y edición estuvieron a cargo de la Subdirección General de Agua Potable Drenaje y Saneamiento de la Comisión Nacional del Agua.

Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón

Roberto J. Contreras Martínez

Noé Hernández Cruz

Ma. de Lourdes Morales Velázquez

Miguel Angel Ruiz Cervantes

Luis Antonio Rodríguez Guerrero

Mario Alberto Pérez Escamilla

Gabriel González Zamudio



EL AGUA NOS UNE,
CUIDARLA ES COMPROMISO DE TODOS

www.semarnat.gob.mx
www.conagua.gob.mx