
Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

**Guía Técnica
de Diseño y
Ejecución de
Proyectos de Agua
y Saneamiento
con Tecnologías
Alternativas**



Autoridades Nacionales del Sector Saneamiento Básico

Lic. María Esther Udaeta
MINISTRA DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA

Dr. Felipe Quispe Quenta
VICEMINISTRO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO

Ing. Reynaldo Villalba Asebey
DIRECTOR GENERAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO

Prefacio

La elaboración de la “Guía Técnica de Diseño y Ejecución de Proyectos de Agua y Saneamiento con Tecnologías Alternativas”, en su primera versión, fue elaborada en el marco de la nueva política sectorial, por el **VICEMINISTERIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO / MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA**, con la participación de varios representantes de instituciones.

INSTITUCIONES SECTORIALES

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA)
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (VAPSB)
Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS)
Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico. (SENASBA)

SEGUIMIENTO TECNICO Y SUPERVISION

Dr. Felipe Quispe Quenta, Viceministro de Agua Potable y Saneamiento Básico
Ing. Reynaldo Villalba Asebey, Director General de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario
Ing. Roger Yugar Yugar, Consultor – Unidad de Normas y Legislación

OTRAS INSTITUCIONES (COMITÉ TECNICO DE REVISION)

GTZ/PROAPAC, JICA/ASVI, IISA/UMSA, SUMAJ HUASI, UNICEF, ANESAPA, EMAGUAS, ABIS, NSSD/DINESBVI - SEI - ESR₂

CONSULTORIA BAJO RESPONSABILIDAD DE

Ing. Alvaro Camacho Garnica

PRESENTACIÓN

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua, a través del Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, en el marco de sus competencias normativas, pone a disposición de profesionales y técnicos del sector agua y saneamiento la presente “Guía Técnica de Diseño y Ejecución de Proyectos de Agua y Saneamiento con Tecnologías Alternativas”.

Esta Guía tiene por objeto asegurar la adecuada elaboración y ejecución de proyectos, tomando en cuenta el cambio climático y el ahorro de agua para consumo humano. En este sentido son los profesionales proyectistas que deben tomar muy en cuenta en el momento de aplicar la normativa en la elaboración de proyectos y, los constructores a tiempo de ejecutarlos.

La elaboración del presente documento fue posible gracias a la participación de profesionales e instituciones del sector, que de manera desinteresada contribuyeron para que se cuente con este importante instrumento normativo.

CONTENIDO

Sección I. Introducción

I.1 Marco conceptual	11
I.2 Objetivos de la guía.....	13
I.3 Descripción del modelo de selección de tecnología	14
I.4 Terminología	19

Sección II. Tecnologías alternativas de agua potable

II.1 Captación

Perforación manual AYNI	33
Protección de vertientes.....	43
Captación de agua de lluvia en techos	53
Captación de agua de lluvia en pisos.....	65

II.2 Tratamiento del agua

Filtración en múltiples etapas (FIME)	71
Filtro casero de arena.....	91
Remoción de hierro y manganeso.....	103
Desinfección mediante hipoclorador de goteo	117
Desinfección solar SODIS	127

II.3 Impulsión

Aerobomba	137
Bomba de ariete	147
Bomba fotovoltaica	155
Bomba manual Yaku	165
Bomba manual Ayni.....	173
Bomba manual Wara.....	181
Bomba manual Rosario.....	191
Bomba manual EMAS FLEXI	195
Torre hidroneumática.....	199

II.3 Almacenamiento

Tanque de ferrocemento.....	209
Tanques prefabricados	223

II. 4 Distribución

Tuberías de polietileno de alta densidad.....	229
---	-----

Sección III. Tecnologías alternativas de saneamiento

III. 1 Sistemas de hoyo seco y con arrastre de agua

Baño seco de hoyo ventilado	241
Baño seco de hoyo seco ventilado alternante	251
Baño con arrastre de agua	257

III. 2 Baño seco ecológico

Baño seco ecológico de doble cámara y solar	269
Baño seco ecológico de contenedor móvil	287
Manejo de heces deshidratadas y orina.....	299
Enterramiento de heces deshidratadas.....	317

III. 4 Sistemas de alcantarillado sanitario

Alcantarillado sanitario condominial	321
Alcantarillado sanitario sin arrastre de sólidos	351

Sección IV. Tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas

Tanque séptico	367
Infiltración de aguas residuales	383
Tratamiento de lodos fecales	401
Filtro anaerobio.....	425
Humedales artificiales de flujo superficial.....	435
Humedales artificiales de flujo subsuperficial.....	447
Lagunas de estabilización	463

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

SECCIÓN I

INTRODUCCIÓN



I.1 Marco conceptual

La Guía Técnica de Diseño de Proyectos de Agua y Saneamiento con Tecnologías Alternativas está conceptualizada, considerando la búsqueda de la sostenibilidad de los servicios de agua y saneamiento en el marco de la gestión integrada de los recursos hídricos y tomando en cuenta los impactos probables del cambio climático.

La severa presencia de los fenómenos del cambio climático afecta y afectará los hábitos y la forma de vida de todos los seres que tienen vida, en especial cuando se enfrenta a la escasez extrema de agua, amenazando su propia existencia, esta es la principal razón para que se impulse el uso de tecnologías alternativas, especialmente de tecnologías con un fuerte componente ecológico.

A medida que pasan los años y la población se incrementa, la situación de accesibilidad a los servicios básicos empeora y la necesidad de sistemas sanitarios seguros, sustentables y accesibles serán aún más críticos, si no se induce al uso de Tecnologías Alternativas, capaces de adecuarse al contexto.

La sostenibilidad se puede definir cuando:

- Funciona en forma apropiada.
- Provee el servicio para el cuál fue planificado, incluyendo: cantidad y calidad del agua potable, fácil y/o adecuado acceso a los servicios de agua y saneamiento, continuidad, confiabilidad.
- Presta el servicio en forma ininterrumpida e indefinida considerando el periodo de diseño o ciclo de vida útil de la infraestructura.
- La gestión del servicio involucra a la comunidad, o alternativamente la misma comunidad gestiona el servicio.
- Bajos costos de operación y mantenimiento.
- El servicio puede ser operado y mantenido a nivel local con limitado o mínimo apoyo externo.
- El servicio no genera impactos negativos al medio ambiente.
- La tecnología deberá estar en armonía con la cultura y en concordancia con la capacidad financiera y técnica de la comunidad, tanto en sus aspectos de construcción, operación y mantenimiento y en lo referente al uso de recursos hídricos.

I.1.1 Factores de Sostenibilidad

La sostenibilidad de los servicios de agua y saneamiento es el resultado de la interacción entre los siguientes factores: i) tecnología; ii) comunidad e instituciones locales; iii) Medio Ambiente.

Tecnología

- Reconocimiento de la tecnología local, contexto, validación de nuevas tecnologías.
- Grado de simplicidad de la tecnología, de fácil operación y mantenimiento.
- Capacidad técnica del sistema debe responder a la demanda de la comunidad y proveer el nivel de servicio deseado.
- Requerimientos mínimos de personal calificado para operar y mantener el sistema.

- Disponibilidad, accesibilidad de material y accesorios de reemplazo del sistema.
- Bajos costos de operación y mantenimiento.
- Bajos costos de inversión.
- Replicable de acuerdo al contexto local.

Comunidad e instituciones locales

- Demanda de la comunidad o necesidad de un servicio de agua y/o saneamiento mejorado.
- Apropiación del servicio por parte de la comunidad.
- Participación de la comunidad (hombres/mujeres, grupos o actores sociales) en todas las fases del proyecto: planificación, diseño, construcción y gestión de los servicios, incluyendo la operación y mantenimiento.
- La capacidad y voluntad de financiar al menos los costos de O&M y/o parte de los costos de inversión (mano de obra, materiales, tarifas).
- Gestión del servicio a través de una EPSA reconocida y organizada.
- Capacidad de la comunidad para la administración y gestión del servicio.
- Cultura del agua, usos y costumbres relacionados con los diferentes usos del recurso hídrico a nivel local.
- Actitudes y prácticas individuales, domésticas y colectivas relacionadas con los impactos en la salud y bienestar de los servicios de agua y saneamiento e higiene.
- Vigilancia y control de la calidad del agua por parte de las instituciones del Estado.
- Gestión de los recursos hídricos a nivel de cuencas / microcuencas por parte del Estado.
- Recursos y programas para educación sanitaria – ambiental y asistencia técnica por parte del Estado (DESCOM).

Medio Ambiente

- El recurso agua como un recurso escaso y finito, esencial para la vida y el desarrollo de los ecosistemas.
- La calidad del recurso hídrico de acuerdo del tipo de fuente: superficial, subterránea, que es un factor que define el tipo de tratamiento a ser requerido.
- Protección de la cuenca y de las fuentes de agua.
- La cantidad y continuidad del recurso hídrico.
- Los impactos del manejo de excretas y aguas residuales en el medio ambiente.
- Integración de las buenas prácticas del uso del agua, saneamiento e higiene que pueden afectar los probables beneficios derivados de la provisión de los servicios de agua y/o saneamiento.
- Consideración de la variable climática (Calentamiento Global) en los recursos hídricos y las medidas de adaptación en la prestación de los servicios de agua y saneamiento.

Marco Institucional

- Políticas y estrategias sectoriales a nivel nacional, política financiera, establecimiento de la normativa y reglamentación sectorial.
- Mecanismos de asistencia técnica, capacitación, desarrollo institucional,

monitoreo.

- Responsabilidad de las instituciones a nivel local, departamental, sobre la accesibilidad, dotación, y prestación de los servicios de agua y saneamiento.
- Desarrollo de capacidades a nivel local, departamental, regional.
- Articulación entre los niveles local, departamental y nacional sobre la implementación de políticas, estrategias, monitoreo, regulación y asistencia técnica de los servicios de agua y saneamiento.
- Valoración de los factores de riesgo que pueden afectar la calidad de los servicios de agua y saneamiento.

I.1.2.- Enfoque

La Guía Técnica de Diseño de Proyectos de Agua y Saneamiento con Tecnologías Alternativas se enmarca en las políticas sectoriales como un instrumento para elaboración de proyectos sostenibles de agua y saneamiento en zonas rurales, periurbanas y/o de expansión o crecimiento urbano. Considerando el ciclo de proyectos podemos señalar los siguientes pasos o etapas:

- i) Identificación de la necesidad de los servicios por parte de la comunidad (Generación de la demanda de servicios de Agua y Saneamiento "AS").
- ii) Inicio del proceso de planificación y consulta para la elaboración del proyecto.
- iii) Diagnóstico participativo de los servicios de AS mediante el DESCOM (elaboración de la línea de base, y otros instrumentos).
- iv) Identificación de las prioridades y requerimientos de la comunidad.
- v) Estudio de alternativas tecnológicas de AS, presentación a la comunidad. Y selección de la(s) alternativa(s) más apropiada(s).
- vi) Estudios de factibilidad y sostenibilidad de la(s) opción(es) seleccionada(s).
- vii) Elaboración de un Plan de AS, aprobados por la comunidad.
- viii) Estudios a nivel de Diseño Final de los proyectos priorizados en el área de estudio.
- ix) Implementación y/o Ejecución del Proyecto.
- x) Monitoreo del Programa y/o Proyecto.

La Guía Técnica como parte del ciclo de proyectos, se transforma en una herramienta útil y necesaria para su aplicación en los pasos v) y vi) de la planificación.

I.2.- Objetivos de la guía

- Contar con un menú de tecnológicas alternativas, no convencionales, e innovativas en AS.
- Facilitar la estandarización y diseño de sistemas de agua potable y saneamiento de acuerdo al contexto local.
- Desarrollar y facilitar el entendimiento de un enfoque sistémico para la búsqueda de soluciones a la carencia, expansión o mejoramiento de los servicios de AS.
- Promover el uso de tecnologías alternativas, destacando sus ventajas y desventajas.
- Promover tecnologías innovativas que permitan la adaptación al cambio climático de los servicios de agua y saneamiento.

La Guía Técnica está dirigida para su aplicación por parte de ingenieros, planificadores, y otros profesionales que estén familiarizados con la problemática de

los servicios básicos e interesados en el desarrollo e implementación de proyectos y/o programas. Esta guía permitirá el análisis, razonamiento y entendimiento de las diferentes tecnologías alternativas buscando promover la creatividad en la implementación de las mismas.

I.3.- Descripción del modelo de selección de tecnología

La guía adopta un enfoque sistémico, de aplicación al saneamiento, considerado como un conjunto de procesos o pasos en los cuales el agua para consumo humano se genera desde las cuencas / microcuencas abastecedoras, se captan, se transportan, son tratadas, se almacena y se distribuye. Por otra parte las excretas y/o las aguas residuales se producen a partir del uso o empleo de artefactos sanitarios para ser conducidas y tratadas hasta su disposición final.

Un sistema de agua consiste en recursos o productos (ingresos/salidas), que luego son sometidos o transportados por una serie de procesos o grados de tratamiento, con diferentes grados de riesgo, y que luego son conducidos hasta su entrega al usuario final. El sistema comprende desde la cuenca / microcuenca abastecedora, obra de toma, aducción, tratamiento, almacenamiento, red de distribución e instalación domiciliaria.

Un Sistema de Saneamiento consiste en recursos o productos (ingresos/salidas) que son transportados/tratados, a través de una opción tecnológica, hasta el punto de disposición final o reuso.

I.3.1. Flujo de selección de tecnologías alternativas de agua y saneamiento

El modelo de selección de tecnología desarrollado por eawag – 2005, define como Grupo Funcional a un menú de opciones tecnológicas que desarrollan una función similar en una etapa o proceso sistémico de un sistema de agua y/o saneamiento. El conjunto de grupos funcionales constituyen una secuencia de procesos sistémicos que partiendo de la captación de agua y/o generación de excretas o aguas residuales, concluye con el uso del agua a nivel domiciliario o la disposición final de las excretas y/o aguas residuales. Cada flujo muestra la secuencia lógica del funcionamiento de un sistema, desde el punto de generación hasta su destino o disposición final. Las opciones tecnológicas correspondientes a cada grupo funcional, se desarrollan en las fichas técnicas correspondientes a los componentes de agua potable y saneamiento. Las opciones presentadas son una sistematización de experiencias exitosas de implementación y desarrollo de tecnologías alternativas de agua y saneamiento en Bolivia. El trabajo de sistematización fue elaborado con base a experiencias propias e información obtenida de los propios involucrados como también por ONG's, instituciones públicas, cooperación internacional, actores sociales y profesionales del Sector.

I) Agua Potable

La presente Guía considera grupos funcionales de los cuales es posible seleccionar una tecnología para conformar o constituir tres sistemas básicos de agua potable, ver el flujo de los sistemas 1; 2 y 3. Los grupos funcionales son los siguientes:

Captación: Comprende aquellas tecnologías destinadas a captar y proteger el recurso hídrico en su forma natural proveniente de diferentes fuentes: superficial, subterránea y/o agua de lluvia.

Perforación: Son aquellas tecnologías dirigidas a la construcción de pozos para la captación de agua.

Impulsión: Son aquellas opciones tecnológicas destinadas al transporte del agua captada de pozos excavados y/o pozos profundos hacia un sistema de tratamiento o almacenamiento.

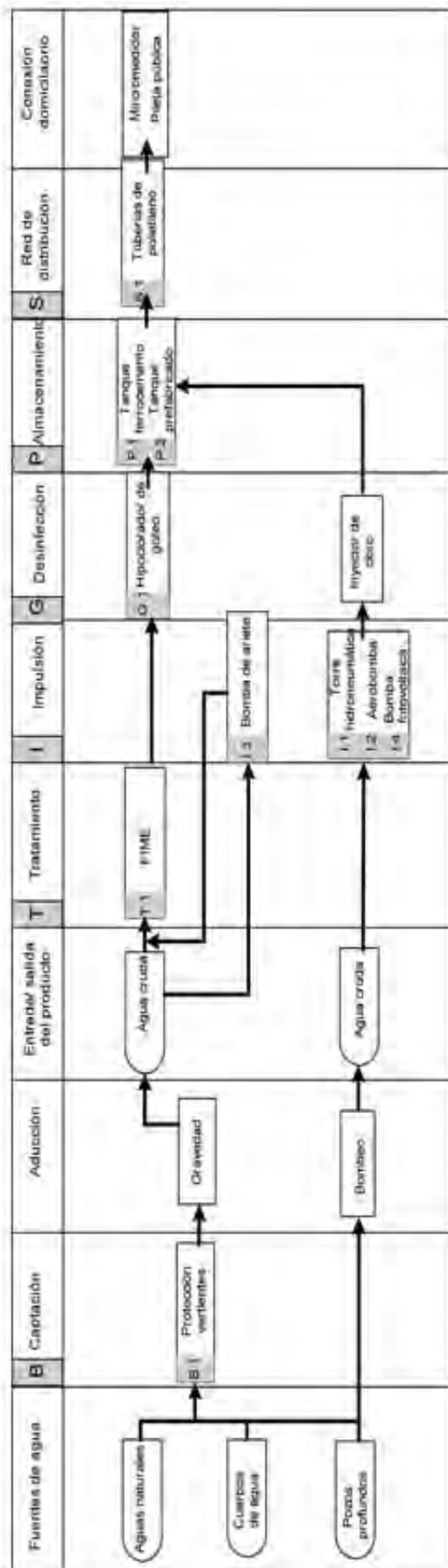
Tratamiento: Esta referido a tecnologías de tratamiento de agua para consumo humano en función a la calidad establecido en la NBSI2.

Almacenamiento / Regulación: Comprende tecnologías y estructuras que cumplen la función de almacenar volúmenes de agua de reserva y regulación.

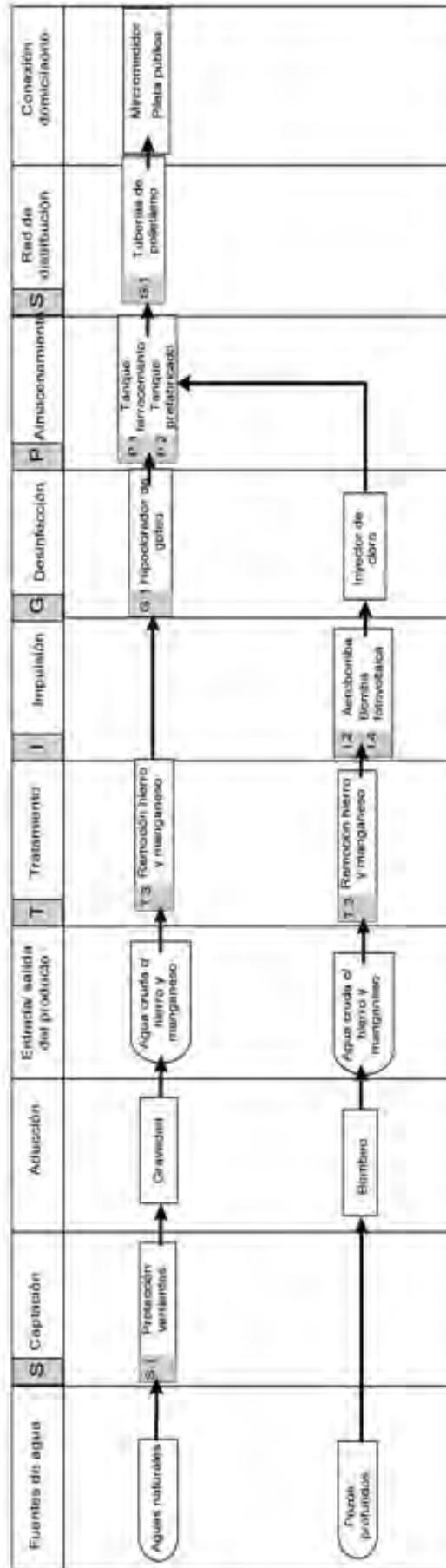
Distribución: Comprende la tecnología para el transporte del agua potable hacia los consumidores o usuarios a través de redes públicas.

Agua potable por gravedad y bombeo

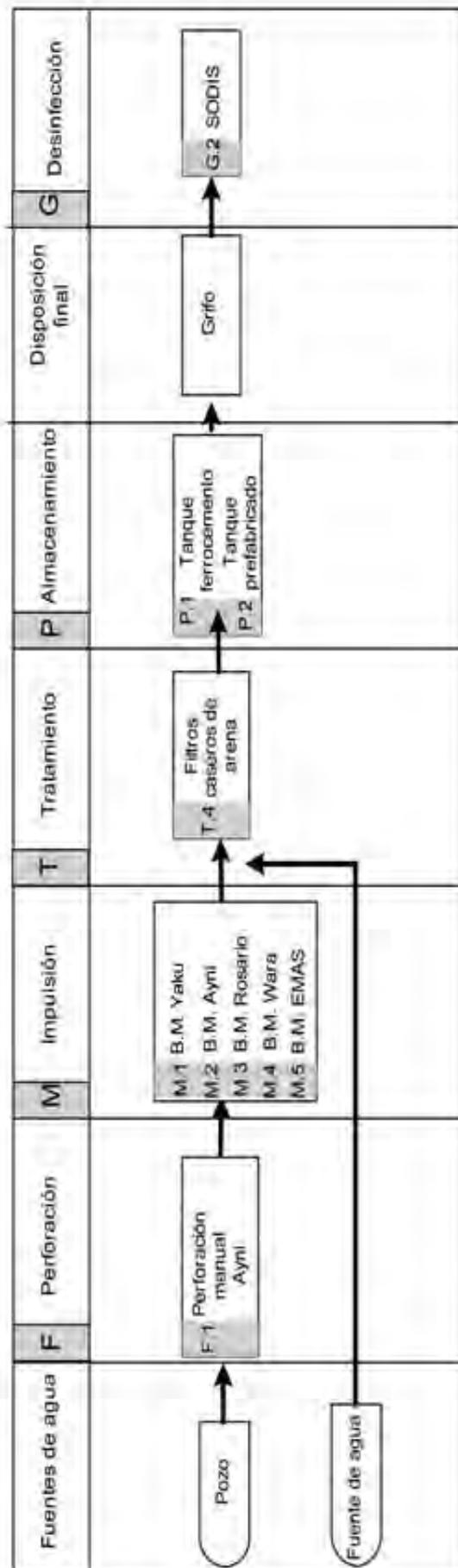
Sistema Agua Potable 1



Sistema Agua Potable 2 Agua potable por gravedad y bombeo con remoción de Hierro y Manganeso



Sistema Agua 3 Bombas manuales y filtros caseros



II) Saneamiento

La presente Guía considera grupos funcionales de los cuales es posible seleccionar una tecnología para conformar o constituir nueve sistemas básicos de saneamiento, ver el flujo de los sistemas 1- 9. Los grupos funcionales son los siguientes:

Artefacto de uso intermedio: Describe el tipo de inodoro y/o urinario que está en contacto con el usuario para la evacuación de excretas (heces y orina). Es el medio por el cual el usuario accede a una solución de saneamiento. La selección dependerá de la disponibilidad del recurso hídrico y el contexto local (socio – económico, ambiental). Como medida de adaptación al Cambio Climático se recomienda el empleo de inodoros de bajo consumo de agua, 3 – 6 litros de descarga por pulsación, y de otros artefactos en general.

Recolección, almacenamiento / tratamiento: Describe los medios o mecanismos tecnológicos de recolección, almacenamiento y en algunos casos algún grado de tratamiento de los productos que son generados por el usuario. El grado de tratamiento que se logra aplicando estas tecnologías es parcial y es función del tipo y periodo de almacenamiento, por lo cual se requiere un tratamiento posterior antes de su disposición final.

Transferencia: Este grupo funcional describe el transporte y conducción de un producto generado por una opción tecnológica de un grupo funcional a otro. Por su importancia y magnitud este grupo funcional está referido a sistemas descentralizados de tratamiento, incluyendo la recolección de aguas residuales domésticas mediante redes de alcantarillado.

Tratamiento centralizado / descentralizado: Esta referido a tecnologías de tratamiento de aguas residuales que son apropiadas para grupos de usuarios, unidades vecinales, barrios periurbanos, urbanizaciones, que pueden ser o no parte de un sistema centralizado o descentralizado de tratamiento. Incluye el tratamiento y disposición de lodos.

Reuso y/o disposición final: Comprende los métodos y tecnologías cuyo producto final retorna a la naturaleza con el mínimo riesgo o como un recurso utilizable para la agricultura, riego de jardines y otros fines.

I.4 Terminología

Agua potable

Aquella que por sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, se considera apta para consumo humano y que cumple con lo establecido en la NB 512.

Agua segura

Aquella que por sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, se considera apta para consumo humano.

Aguas negras

Volumen de aguas residuales provenientes de la evacuación de excretas.

Aguas grises

Es el volumen total de aguas residuales provenientes del aseo personal, labores de cocina, lavado de ropa y limpieza en general.

Aguas residuales domésticas

Volumen total de aguas provenientes de la evacuación de efluentes de viviendas, edificios públicos o inmuebles de carácter social, se conocen también como aguas servidas domésticas.

Aguas residuales comerciales

Volumen total de aguas provenientes de la evacuación de efluentes de locales comerciales, se conocen también como aguas servidas comerciales.

DBO / Demanda bioquímica de oxígeno

Medida de la cantidad de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos para la oxidación bioquímica de la materia orgánica contenida en las aguas residuales, se expresa en mg / L.

Biosólidos

Es el material producto de la estabilización de los lodos fecales y que producen beneficios al medio ambiente a través de su reuso.

Calentamiento global

Fenómeno natural que produce la elevación de la temperatura atmosférica causada por las actividades antropogénicas generadoras de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄).

Compost – ecohumus

Material producto de la descomposición orgánica de los lodos fecales a través de un sistema de tratamiento de lodos que permite su manejo higiénico y reuso en la agricultura.

Excretas

Conjunto de heces y orina producidos por el ser humano que no se mezclan con agua para su evacuación.

Lodos fecales

Sólidos producidos por la digestión parcial o total en los sistemas de saneamiento in situ, como los baños de hoyo seco (letrinas), baños públicos carentes de alcantarillado sanitario, tanques sépticos (denominados también lodos sépticos).

Lodos sépticos

Es el material semilíquido producto de la extracción de los lodos provenientes de las cámaras sépticas.

Reducción log

Indicador de eficiencia de remoción de microorganismos patógenos: 1 unidad log = 90% de remoción; 2 unidades log = 99%; 3 unidades log = 99.9% y así sucesivamente.

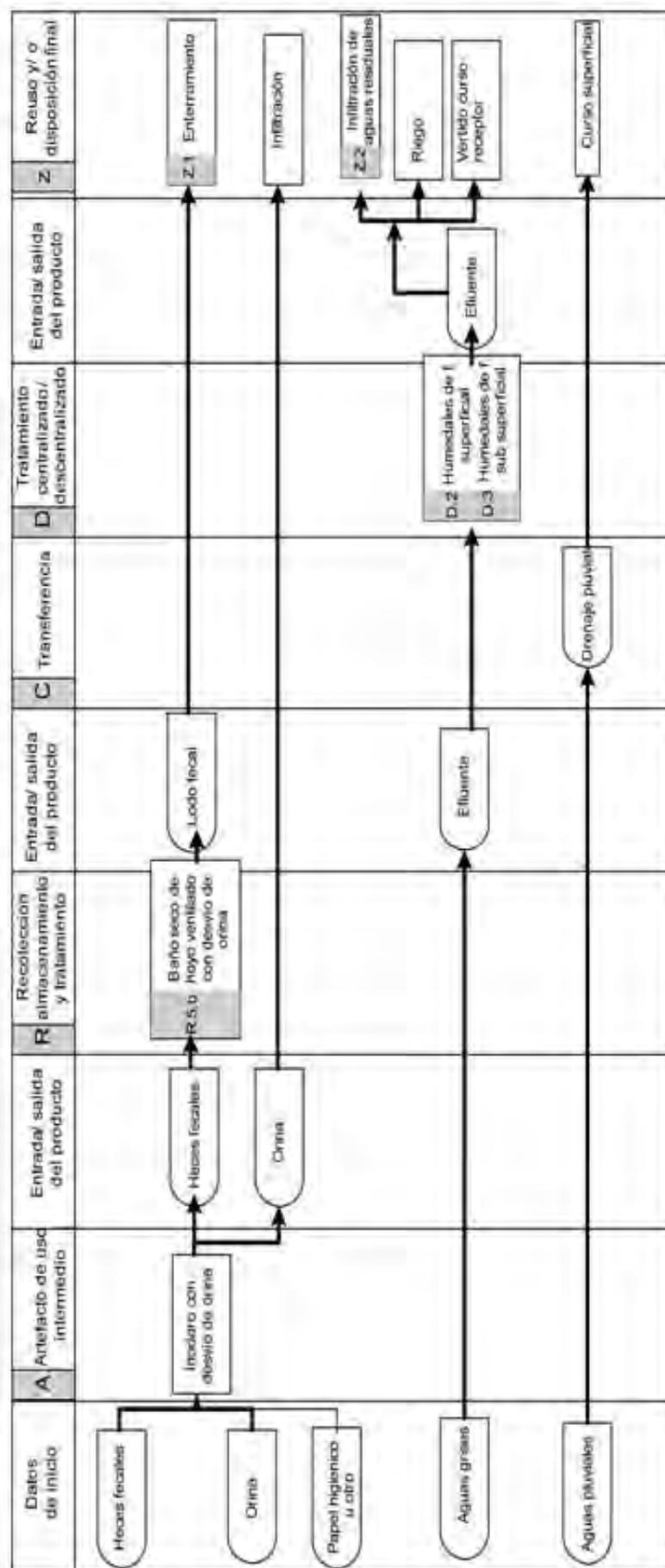
Sistema descentralizado de saneamiento

Sistema de manejo de las aguas residuales enfocado en la reducción de las descargas de aguas residuales a nivel de la vivienda y su reuso para el consumo doméstico.

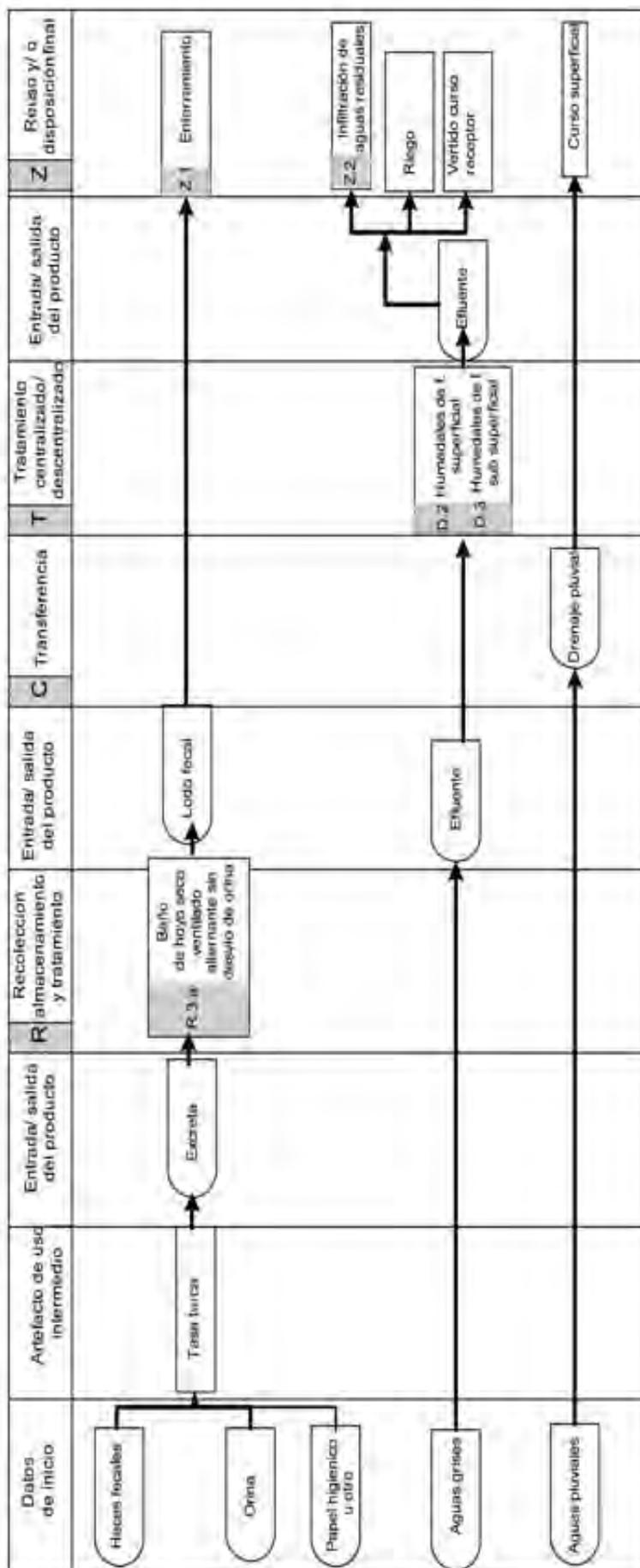
Referencias

[1] Elizabeth Tilley, Cristophluthi, Antoine Moprel, Chris Zurbrug y Roland Shertenleib, Eawag-Sandec – Sanitation Systems Compendium of Sanitation Systems and Technologies, 2005.

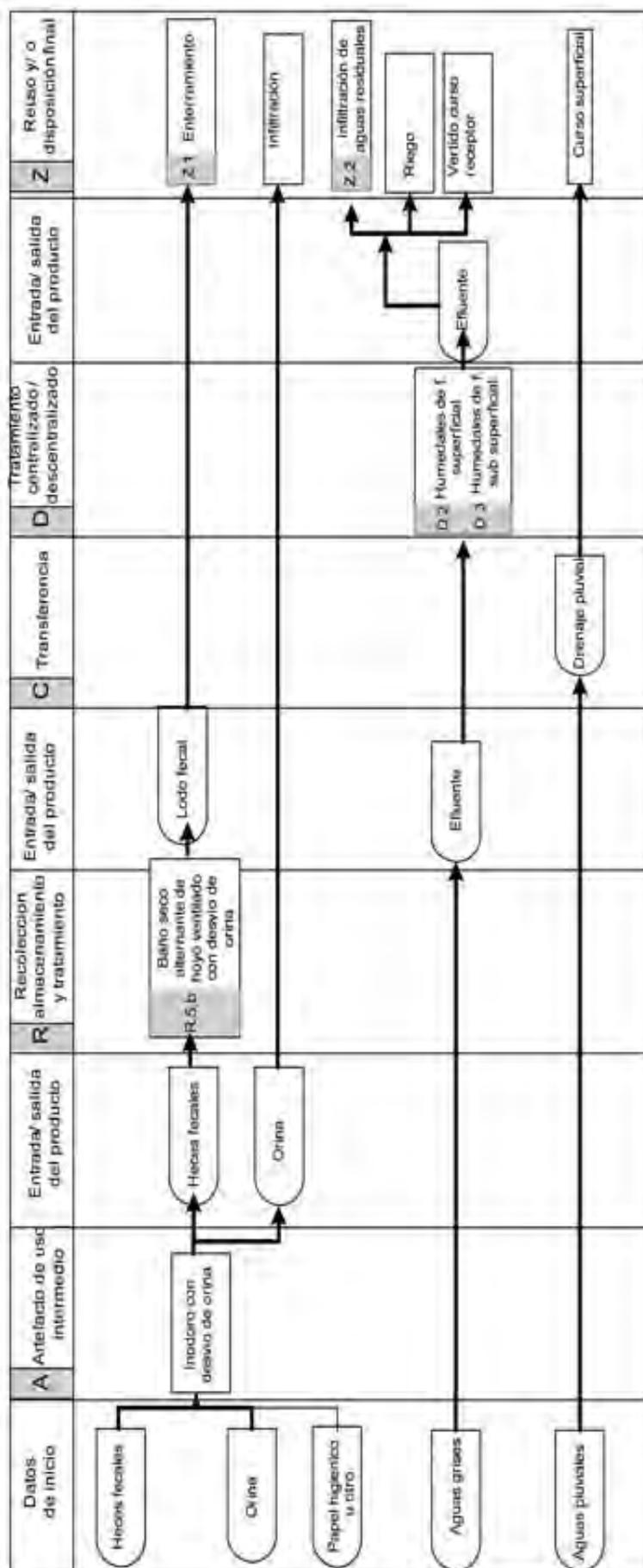
Sistema de saneamiento 2 **Sistema baño de hoyo seco ventilado con desvío de orina**



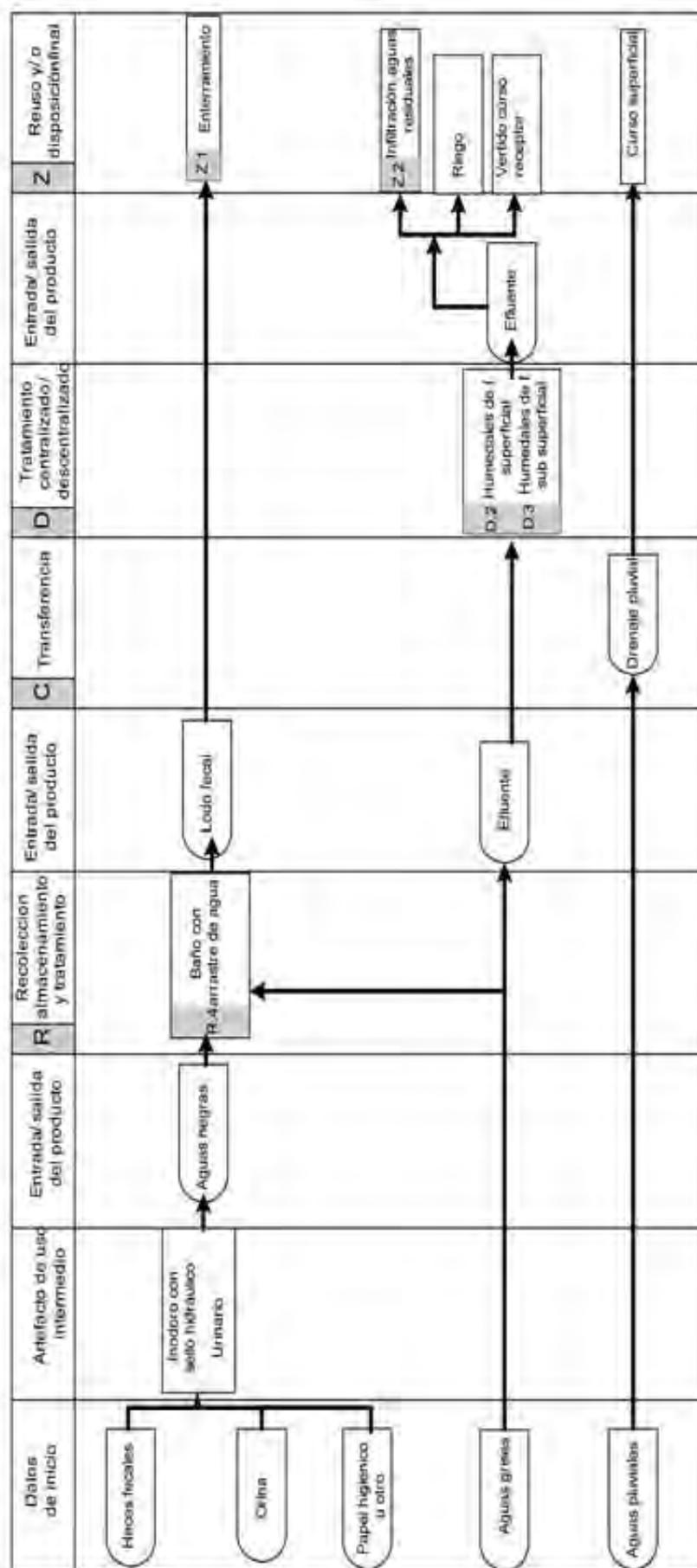
Sistema de saneamiento 3 **Sistema baño de hoyo seco ventilado alternante sin desvío de orina**



Sistema de saneamiento 4 Sistema baño de hoyo seco ventilado alternante con desvío de orina

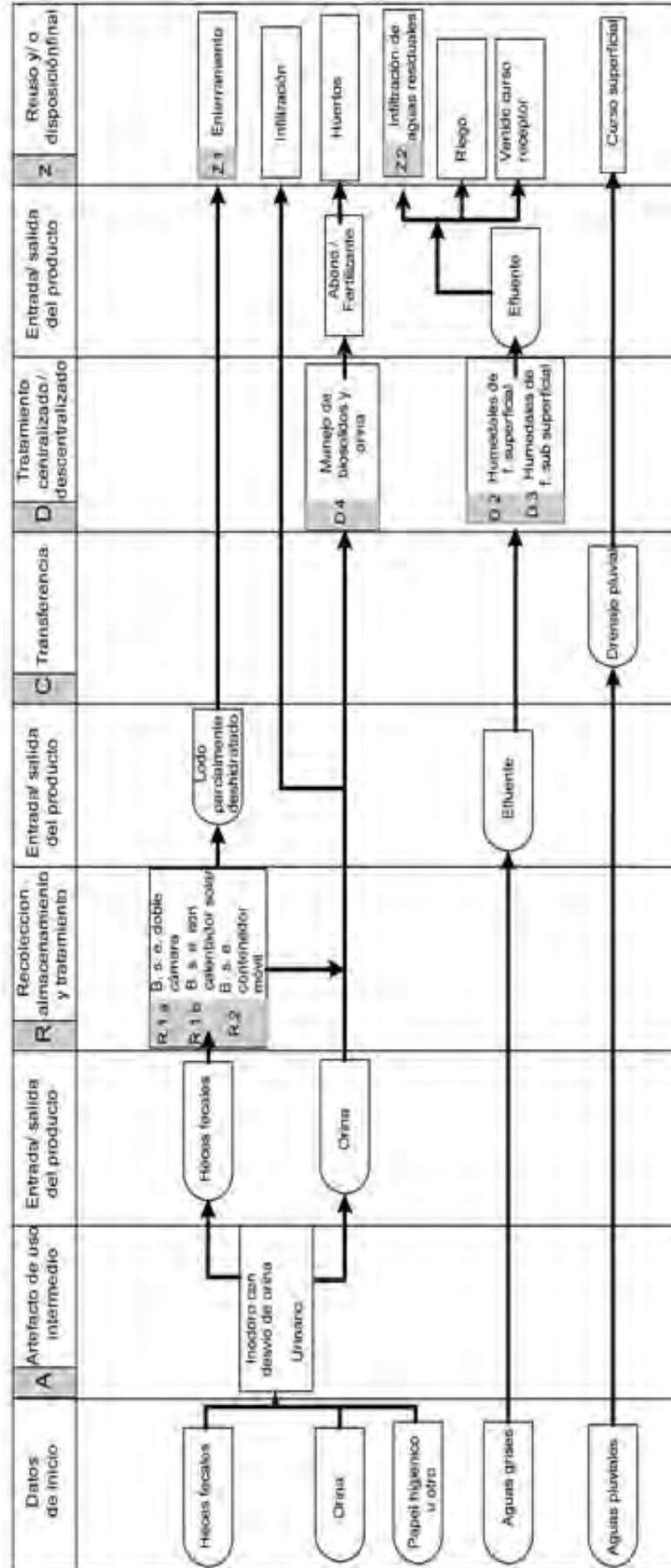


Sistema de saneamiento 5 Sistema baño con arrastre de agua y pozo gemelo

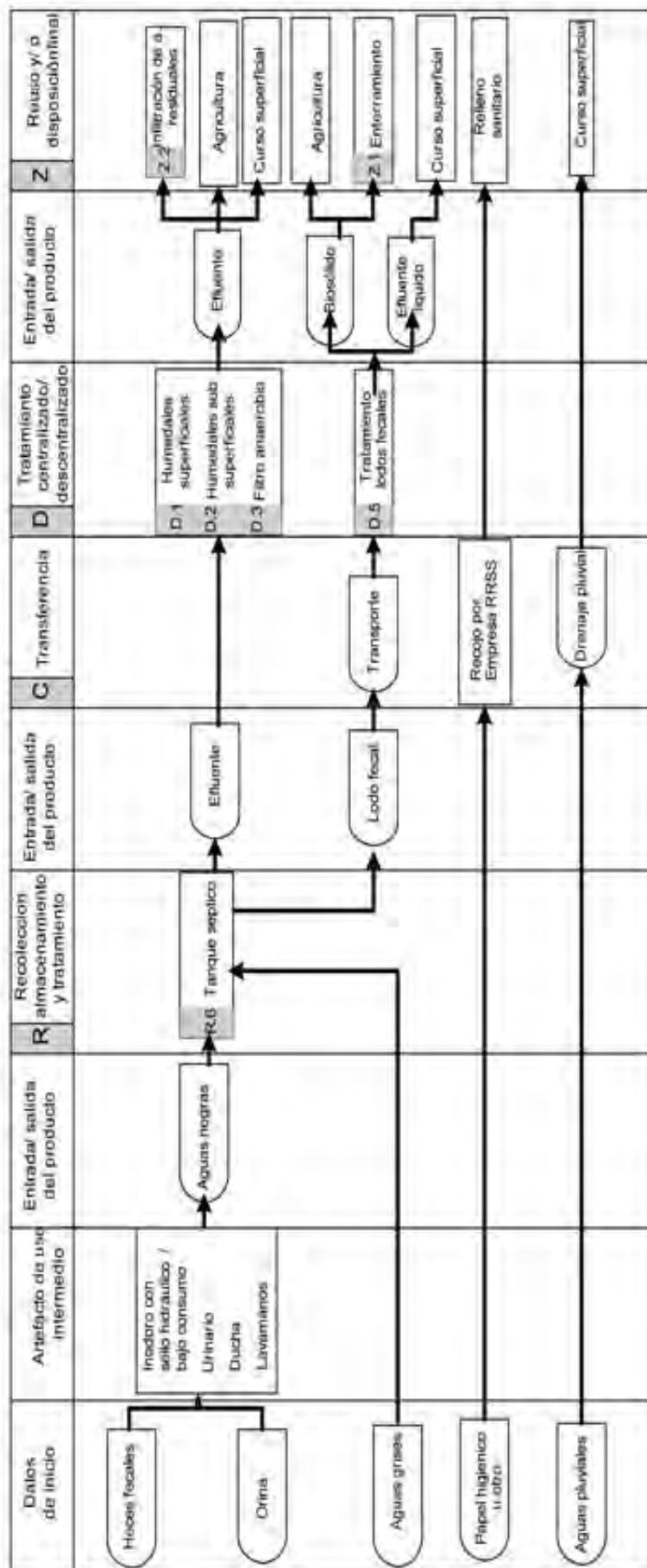


Sistema seco con desvío de orina

Sistema de saneamiento 6

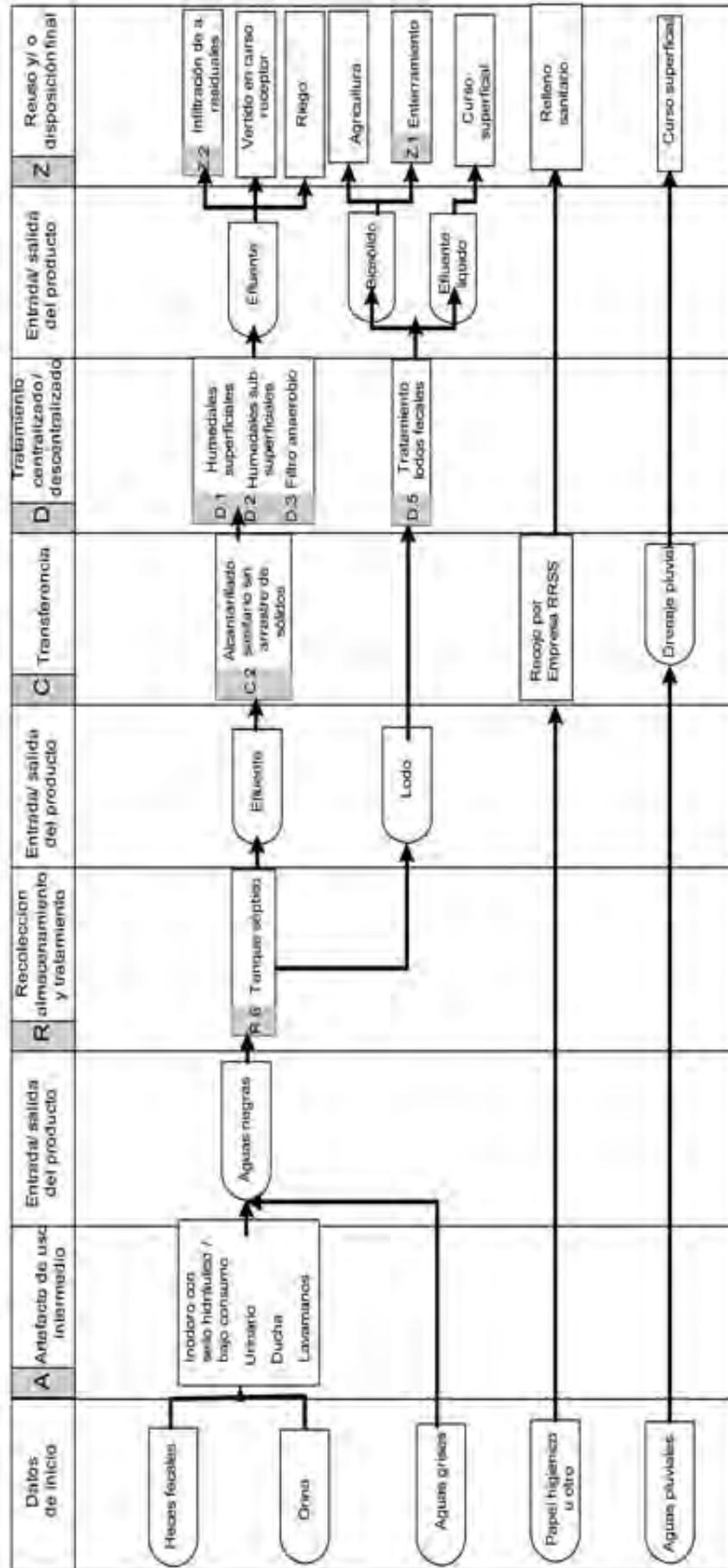


Sistema de saneamiento 7 Sistema con arrastre de agua y tanque séptico familiar



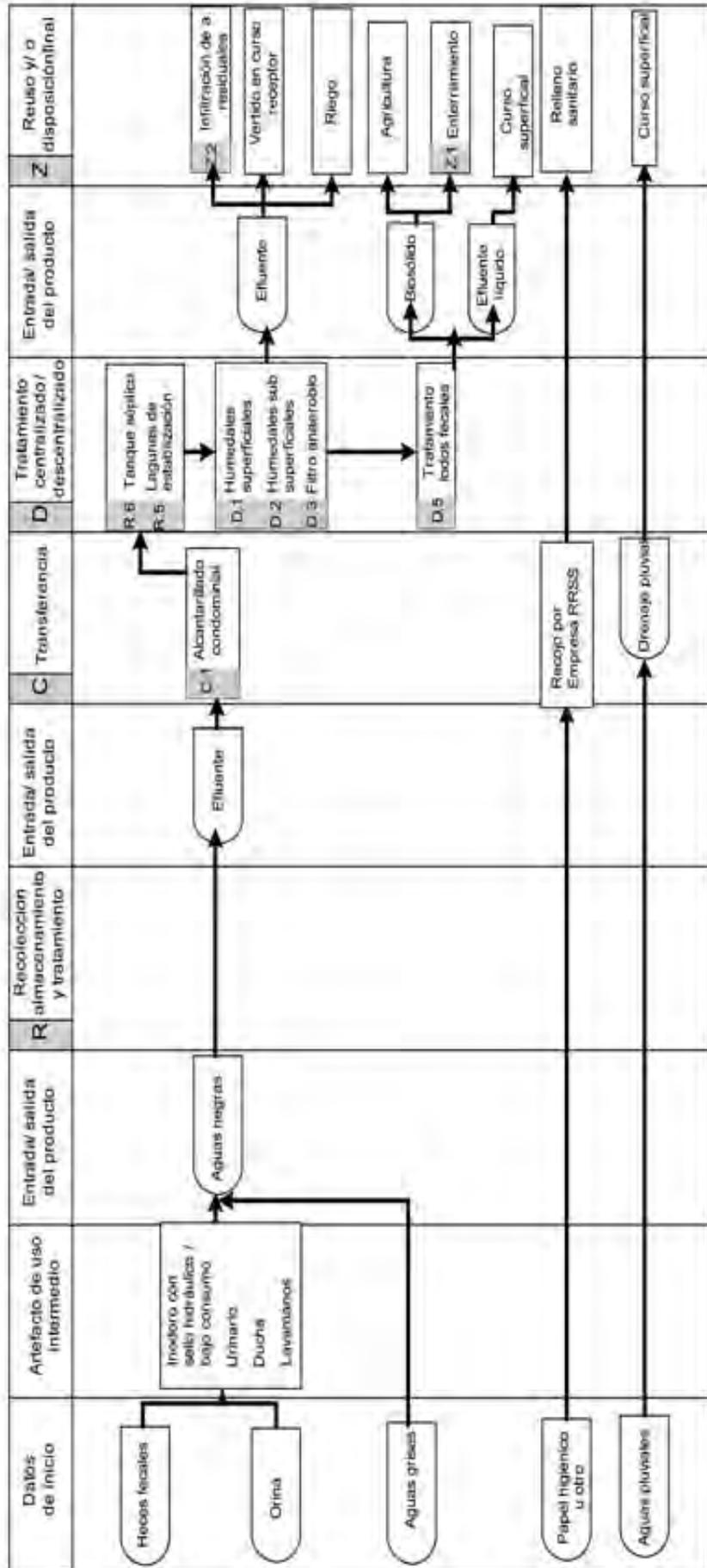
Sistema descentralizado de alcantarillado sanitario sin arrastre de sólidos

Sistema de saneamiento 8



Sistema descentralizado de alcantarillado condominial

Sistema de saneamiento 9



Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

SECCIÓN II

TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS DE AGUA POTABLE



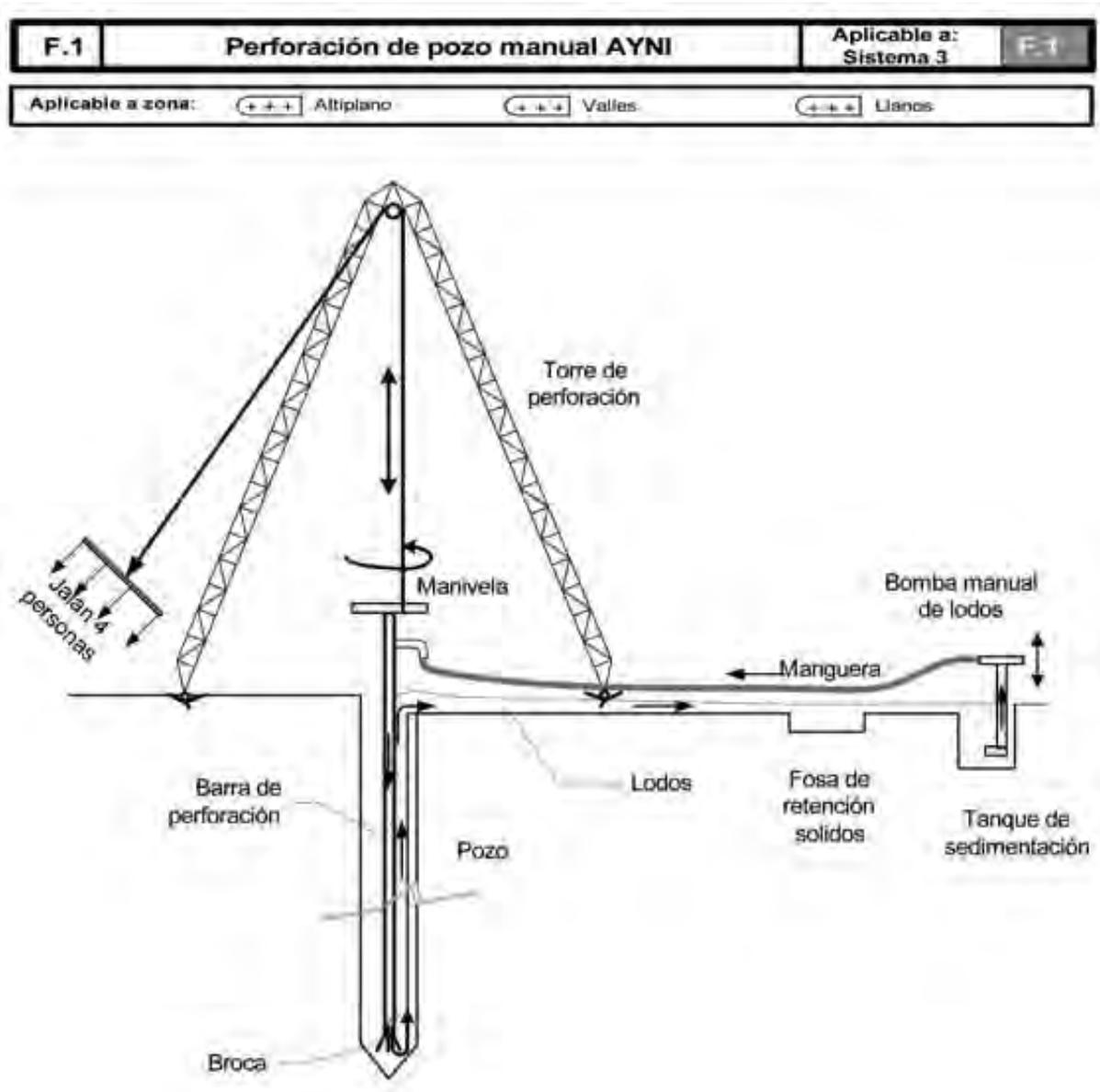


Fig. 1 Esquema de perforación

DESCRIPCIÓN

Es una tecnología de perforación de pozo manual, tiene los mismos principios que la perforación hidráulica rotatoria de un equipo mecanizado, las acciones son una combinación de dos movimientos, la rotación y la percusión. La rotación es accionada por el perforista y la percusión es apoyada generalmente por los propios beneficiarios. Todas las actividades requieren el trabajo de 8 personas. Los diámetros de los pozos son de 2", hasta profundidades de 120 m, y de 4" hasta 40 m. Esta tecnología funciona mejor en suelos terciarios y cuaternarios (suelos relativamente suaves), no es técnicamente factible en suelos pedregosos y/o rocosos.

El equipo de perforación consta de los siguientes componentes:

La torre de perforación: Consta de dos columnas de 6 m de longitud desarmables en cuatro partes, unidas mediante bisagras. Las dos columnas se unen por una articulación formando un bípode anclado por tensores.

Batería de perforación: Compuesto por una broca, cabezal de inyección o manivela y tubos de perforación (de fierro galvanizado). Existen varios modelos de brocas de perforación, las más usuales son las de punta de tungsteno (puntas de barrenos), brocas diamantadas (para terreno duro), broca de 6 puntas para terreno arcilloso arenoso y otros similares, todos de construcción local.

Fluido de perforación: Es el lubricante que facilita la perforación del pozo, mezcla de agua y arcilla, tiene un peso específico alto para garantizar la estabilidad de las paredes del pozo; se emplea en reemplazo de la bentonita (material usado en las perforaciones convencionales). Este lodo es inyectado, a la boca de la barra de perforación, por una bomba manual de elevación o una motobomba de lodos.

Esta tecnología fue desarrollada inicialmente por la Escuela Móvil de Agua y Saneamiento (EMAS), posteriormente por la OPS/OMS, como Flexi/OPS, y por la ONG Sumaj Huasi, de donde procede el nombre de Ayni.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Esta tecnología es más apropiada como solución para la captación de agua en zonas de difícil acceso, o caminos y/o carreteras inestables. Es adaptable para comunidades o grupo de familias dispersas de escasos recursos económicos, zonas rurales dispersas o periurbanas, dependiendo del tipo de suelo que se presenta en la zona (solo es aplicable en suelos suaves).

En el país se ha implementado esta tecnología por varias Organizaciones No Gubernamentales, y Gubernamentales, como Plan Internacional Bolivia, UNICEF, Cruz Roja, Sumaj Huasi, UNASVI / JICA, en distintas regiones, donde las viviendas son dispersas.

La Tabla 1, presenta algunos lugares donde se ha implementado esta tecnología:

Tabla1. Regiones de implementación

Departamento	Municipio	Localidad
La Paz	Santiago de Machaca	Varias comunidades
Beni	Reyes	Gualaguagua

CRITERIOS DE DISEÑO

La recopilación de datos en sitio es la etapa más importante para la selección del sitio de perforación verificando los pozos existentes tanto excavados como perforados próximos, estos datos serán referidos a las características técnicas del suelo y calidad de agua. Otra forma de seleccionar el lugar de perforación es mediante la observación de las características de vegetación de la zona, a través de información recopilada de los propios beneficiarios. El análisis de estos datos

permitirá conocer las principales características hidrogeológicas del lugar y poder establecer la viabilidad de la perforación.

El diámetro del pozo se determinará de acuerdo al tipo de bomba a ser instalada, si es manual es recomendable 2" y si es una bomba solar o eléctrica, la recomendable es de 4".

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Las acciones de rotación y percusión permiten que la tierra se suelte, una corriente de agua reciclada de lodos entra al pozo a través del tubo de perforación y extrae la tierra suelta del pozo en forma continua. El lodo circula por la acción de una bomba manual o motobomba de lodos, que está ubicado en una fosa de 0,60 x 0,60 x 0,60 m. El lodo se inyecta mediante una manguera que intercomunica la bomba de lodos a la barra de perforación mediante una manivela (cabezal de inyección). El lodo inyectado fluye a través de las barras de perforación hasta el cabezal de la broca por donde sale el lodo.

Una vez alcanzada la profundidad final del pozo se realiza la inyección de agua o aire, mediante una motobomba o compresor, para desalojar todo el lodo introducido y otros materiales en suspensión. Se procede luego a la limpieza del pozo (empleando unos 2,0 m³ de agua limpia), para luego realizar la toma de muestras de agua subterránea. El pozo perforado se encamisa con tuberías de PVC, ubicando la rejilla o filtro (que son orificios hechos en el mismo tubo) que se forra con una tela sintética. El largo del filtro está en función del espesor del acuífero que se encuentra. Para el pre-filtro o empaque se emplea arena o gravilla seleccionada y pre-lavada. El hueco perforado es de 3 ½", para la instalación de un tubo de 2" y de 6 ½" para uno de 4".

La Tabla 2, muestra los costos directos referenciales de perforación de pozos con base a la experiencia desarrollada en Bolivia.

Tabla 2. Perforación de pozos. Costos directos referenciales (Bs)

Diámetro de encamisado	Costo Bs/ m.	Tubería	Espesor tubería (mm)
PVC 2"	245	Clase 9	2,65 mm
PVC 4"	462	E-40	6,35 mm

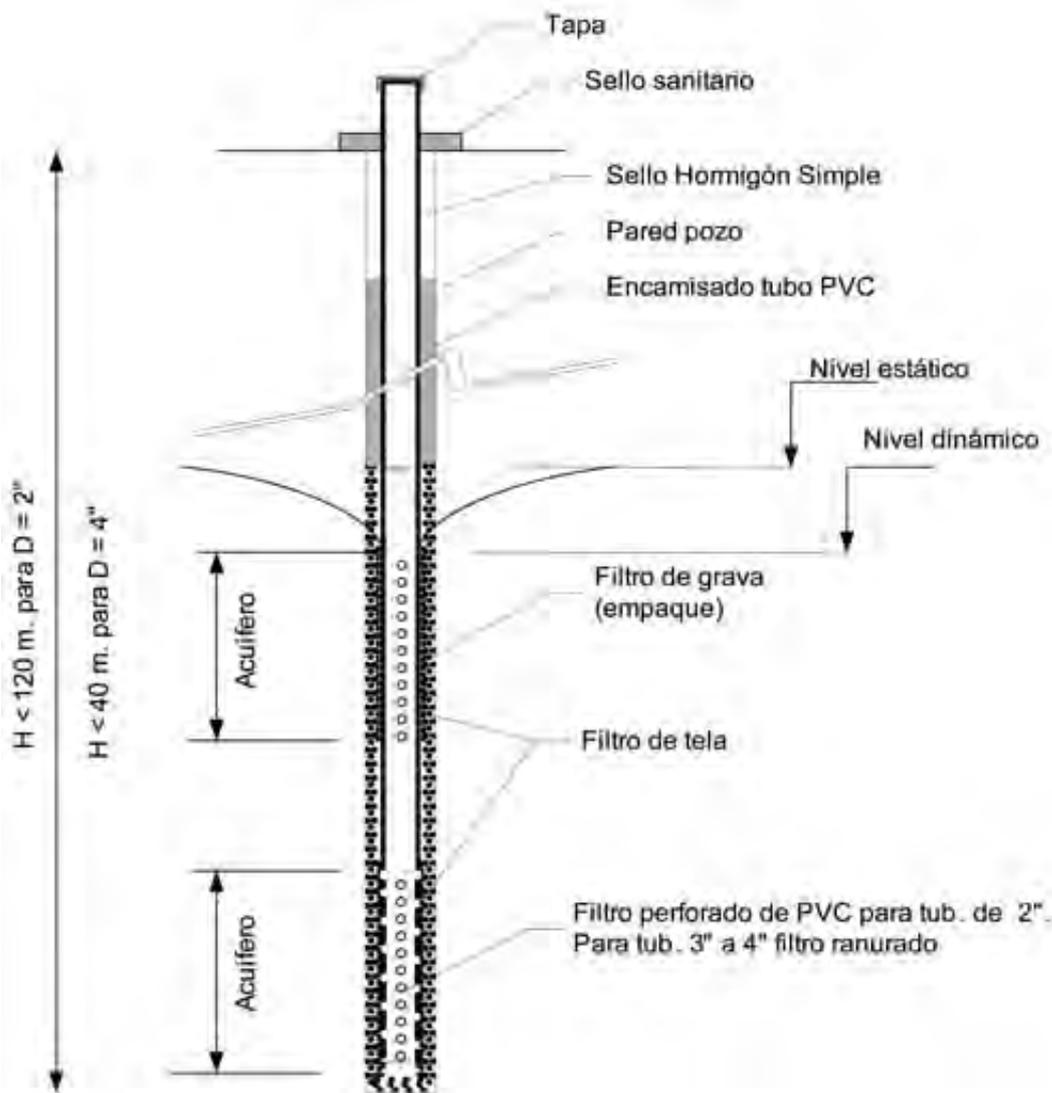


Fig. 2 Perfil de un pozo terminado

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las actividades rutinarias son las siguientes: i) mantener limpio el sello sanitario, lavar para retirar las impurezas, limpiar el área adyacente, retirar plantas, hierbas, piedras u otros materiales; ii) verificar si hay rajaduras o fisuras en el sello sanitario; iii) verificar la existencia de potenciales fuentes de contaminación como letrinas, aguas estancada, etc.; iv) realizar la limpieza del pozo cuando corresponda.

La limpieza del pozo se realiza cuando se observa una disminución del caudal, presencia de sólidos en suspensión (tierra y arena) en el agua, o se ha comprobado la presencia de contaminación. En estos casos, se debe retirar la bomba, medir la profundidad del agua, para proceder con lavar el pozo con un politubo de $\frac{3}{4}"$. Previamente se limpia el interior del pozo amarrando en uno de los extremos un trapo que sirve para raspar; el lavado se realiza aplicando la técnica conocida como oleaje, que consiste en agitar el politubo con una válvula de retención acoplada en el extremo que ingresa al pozo (el politubo y la válvula funcionan como una bomba de agua), de esta manera se extraen todos los sólidos e impurezas, para finalmente desinfectar el pozo con cloro.

La Tabla 3, presenta un resumen de las principales tareas de operación y mantenimiento a ser tomadas en cuenta.

Tabla 3. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Limpieza externa	Limpiar el entorno del pozo, evitando charcos adyacentes, malezas u otros materiales.
Verificación de fuentes de contaminación	Identificar potenciales puntos de contaminación como baños de hoyo seco, baños con arrastre de agua, estancamiento de aguas, etc. La distancia de un baño, seco o con arrastre de agua, deberá ser mayor a 15,0 m, con relación a un pozo perforado, ver tecnología de infiltración de aguas residuales.
Limpieza del pozo	Se realiza de acuerdo a lo indicado líneas arriba.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Bajo costo.</p> <p>Fácil de transportar y operar en condiciones de difícil accesibilidad.</p> <p>Implementación rápida, con materiales locales.</p> <p>No utiliza ningún combustible, ni bentonita.</p> <p>Solución practica para grupos reducidos de familias.</p> <p>Puede utilizarse para bombas manuales y/o bombas solares.</p>	<p>Profundidad limitada.</p> <p>Requiere la participación de los beneficiarios, al menos 8 personas.</p> <p>Es aplicable solo en suelos blandos/suaves.</p> <p>No es factible en suelos pedregosos.</p>

Referencias:

OPS/OMS Metodologías y Tecnologías en Saneamiento Básico para la Población rural dispersa, 1998

SUMAJ HUASI, Para una vivienda Saludable, 2010

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PUBLICAS VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BASICOS, Operación y Mantenimiento de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento, para poblaciones menores a 10000 habitantes.

JICA, Proyecto "Agua es salud y vida Fase 2 (ASVI), Guía perforación manual de pozos, 2009

ANEXOS

Anexo 1



Foto 1.1 Torre de perforación



Foto 1.2 Bomba de lodos (manual)



Foto 1.3 Proceso de perforación



Foto 1.4. Encamizado del pozo



Diamantada



Tirabuzón

Foto 1.5. Brocas de perforación



Foto1.6 Pozo perforado manualmente,
Localidad Gualaguagua – Municipio Reyes



Foto1.7 Pozo perforado manualmente,
Localidad Gualaguagua – Municipio Reyes

B.1	Protección de vertientes	Aplicable a: Sistema 1	B.1
Nivel de empleo (+++) Rural concentrada (+++) Rural dispersa () Periurbana		Nivel de administración (++) EPSA (+++) Familia () EPSA	
		Entrada producto: () Agua	
		Salida del producto: () Agua	
Aplicable a zona: (++) Altiplano (++) Valles () Llanos			

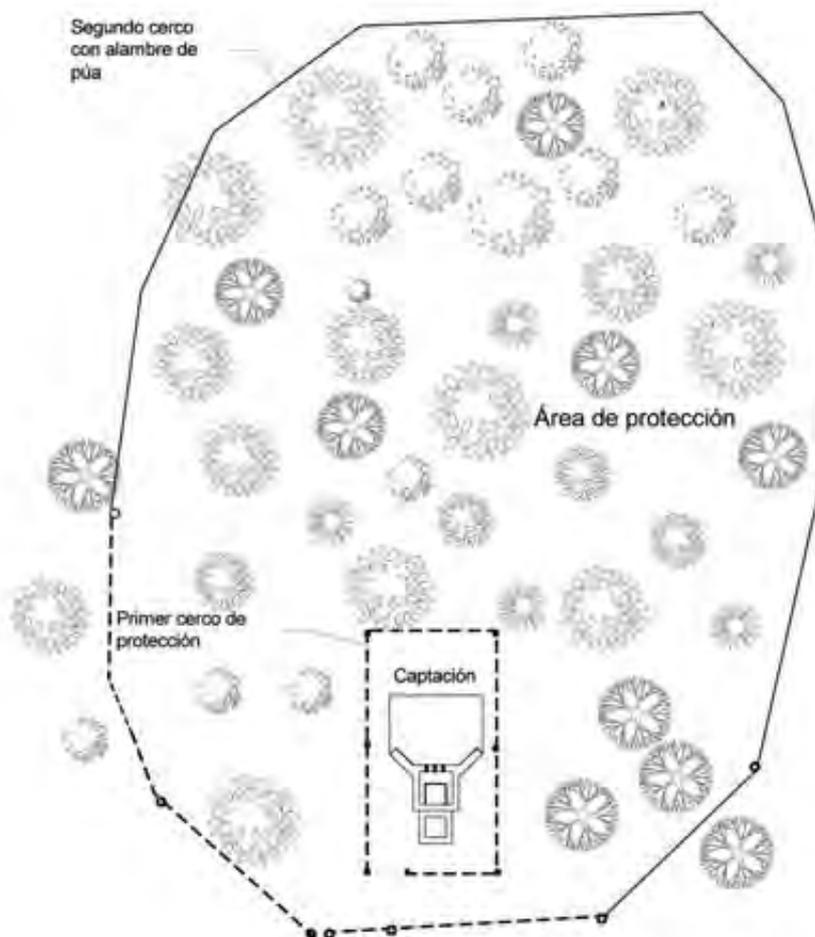


Fig. 1 Captación y protección de vertiente

DESCRIPCIÓN

El aprovechamiento del recurso agua mediante la captación de vertientes o manantiales es otra alternativa tecnológica sencilla de implementarse. La vertiente o manantial es un lugar donde se produce un afloramiento natural del agua subterránea. Por lo general una vertiente se encuentra en estratos de formaciones de arena y grava que almacenan agua confinada (acuíferos). También se origina por el flujo de agua subterránea a través de rocas fisuradas; estas aguas se infiltran en el área de recarga por efecto de lluvias, nieve etc.

Los sitios donde emergen estas vertientes son laderas de colinas y los valles ribereños. La existencia de vegetación verde en un área seca también es un indicativo de la presencia de una vertiente o humedal natural. Una vertiente en condiciones protegidas ofrece agua pura o segura, generalmente se la puede usar

sin tratamiento, con excepción de aguas cuya composición química tiene minerales en exceso como hierro o manganeso u otros contaminantes (metales pesados). Para el buen aprovechamiento del agua se requiere que la vertiente esté protegida, mediante una estructura de mampostería de piedra, hormigón armado, ladrillo u otro, de modo que se impida su contaminación.

Los tipos de captación y protección de vertientes más usuales son los de ladera o lateral, de fondo y bofedales. La estructura se compone de la captación, cámara de llaves, tuberías de salida, reboce, limpieza, ventilación y tapas sanitarias de visita.

Generalmente la salida esta conectada a una línea de aducción de un sistema de agua potable, pero también puede ser conectada a una o varias piletas de acuerdo a la oferta de agua, nivel de servicio adoptado y condiciones locales.

Para evitar la contaminación del entorno es necesario prever un cerco o barrera de protección sanitaria, de malla olímpica o alambre de púas. Asimismo, se prevé un segundo cerco, de malla olímpica o alambre de púas, con un radio mínimo de 100 m, como se puede ver en la Fig. 1.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

La protección de vertientes se aplica en zonas rurales dispersas, o zonas periurbanas, donde se tienen afloramientos de aguas subterráneas.

Existen dos tipos de vertientes; i) vertientes con flujo por gravedad y; ii) vertientes con flujo artesiano.

Las vertientes con flujo por gravedad se presentan en acuíferos no confinados donde el nivel de la superficie del suelo se encuentra por debajo del nivel de aguas subterráneas. De este modo, cualquier depresión del suelo será inundada con agua que fluye por gravedad. Generalmente tienen poca capacidad de almacenamiento y los caudales fluctúan estacionalmente, menor durante el estiaje, cuando baja el nivel de las aguas subterráneas.

Las vertientes con flujo artesiano, son similares en su aspecto a las vertientes gravitacionales, sin embargo, el agua subterránea de este tipo de vertientes fluye bajo condiciones de presión, proveniente de acuíferos confinados, sin presentar fluctuaciones estacionales significativas.

La selección definitiva de un sistema de protección de vertientes deberá tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Tipo de comunidad: dispersa concentrada
- Condiciones de afloramiento de las aguas: gravitacional o artesiano.
- Nivel seleccionado del servicio: piletas públicas, domiciliarias.
- Distancia a la comunidad, accesibilidad.

CRITERIOS DE DISEÑO

Se tomará en cuenta particularmente el tipo de afloramiento, la infraestructura deberá ser diseñada con el criterio de velar por los aspectos sanitarios. La captación esta constituida por una cámara hermética, donde se encuentran las tuberías de aducción, rebose, limpieza, tubo de ventilación y la cámara de llaves de control.

Se debe tomar en cuenta la construcción de una zanja de coronamiento para interceptar las aguas de escurrimiento superficial (aguas pluviales) y como barreras sanitarias un primer cerco perimetral y un segundo de mayor área de protección. Muchas veces los afloramientos están próximos unos a otros, debiendo los mismos ser considerados en forma independiente. Las Figuras 2; 3; 4 muestran los diseños más representativos.

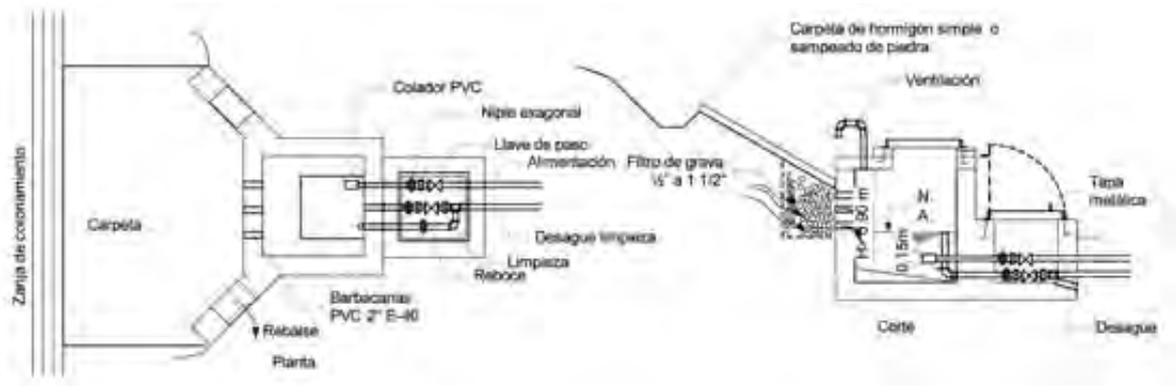


Fig. 2 Captación de vertiente de ladera

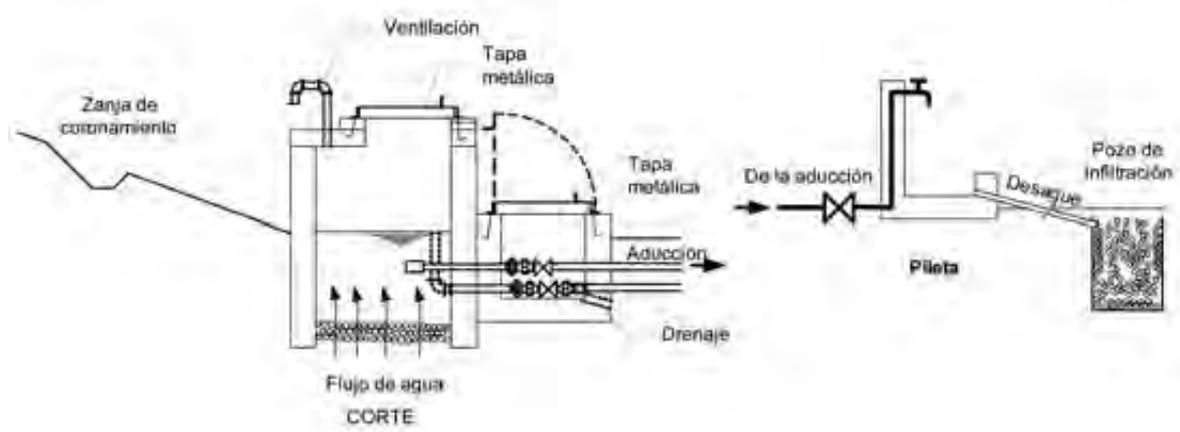


Fig. 3 Captación de vertiente de fondo

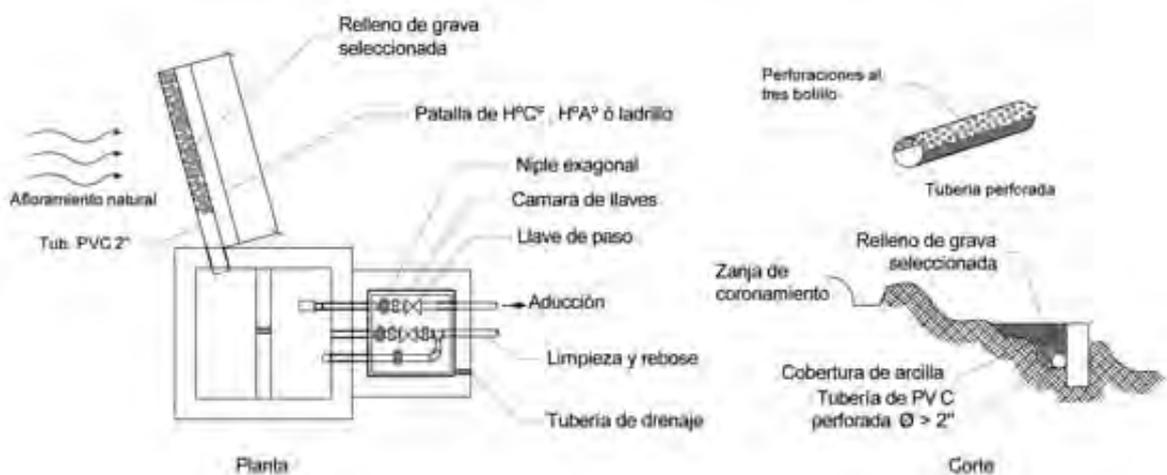


Fig. 4 Captación de bofedal

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

La estructura de captación puede ser construida de hormigón simple, hormigón armado, mampostería de ladrillo u hormigón ciclópeo. La cámara deberá tener una dimensión mínima de 90 x 90 cm y contar con un acceso de visita de 60 x 60 cm (con tapa sanitaria hermética de hormigón armado o metálica que posea un candado de seguridad). Las tuberías de rebose y limpieza deberán ser de PVC E-40, para facilitar las conexiones con accesorios de bronce o de PVC. La cámara de llaves tiene una dimensión mínima de 60 x 60 cm, accesible para la instalación y operación de accesorios y llaves de paso; estas últimas pueden ser de media vuelta o de mariposa, siendo la más recomendable el uso de la primera.

Para la malla olímpica del primer cerco de protección se emplea alambre galvanizado No.10 (con rombos de 2 1/2" x 2 1/2"), sujetos a postes de cemento, de fierro galvanizado tipo bayoneta o postes de madera, con diámetro de 6", espaciados cada 3,0 m en todo el perímetro. Los postes descansan en cimientos de hormigón simple o ciclópeo, en cubos de 25 x 25 x 45 cm. Para el segundo cerco de protección se puede emplear alambre de púas (separados cada 30 cm en el plano vertical) sujeto a postes de madera o metálicos.

Tabla 1. Captaciones de vertiente y cerco perimetral. Costos directos referenciales (Bs)

Vertiente de ladera (Pieza.)	Vertiente de fondo (Pieza)	Captación de bofedal (Pieza.)	Cerco perimetral c/malla olímpica (m)	Cerco perimetral c/alambre de púas (m)
9 040	7 900	8 200	255	23

Incluye accesorios de plomería de 2".

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La Tabla 3, presenta un resumen de las principales tareas de operación y mantenimiento a ser tomadas en cuenta.

Tabla 3. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones claves
Manipuleo de las llaves de paso.	Limpieza general, ejercicio de maniobra, ajustar con cuidado sin forzarlas, observar filtraciones y corregir.
Mantenimiento de la tapa	Limpiar las tapas de la cámara de llaves y de la cámara receptora, para evitar el atasco o dificultad en su apertura, si es metálica, realizar el engrase de las bisagras.
Verificación del entorno	Revisar el área cercana a la captación, observar si existen fuentes de contaminación, así como la presencia de excrementos de animales, agua estancada etc.
Verificación de fugas	Accionar las llaves con ejercicios de cierre y apertura, verificar si existen fugas en la estructura para su corrección.

Limpeza interior	Limpiar el interior de la captación y realizar la desinfección, lavando con agua de lavandina o cloro.
Limpeza de la zanja de coronamiento	Limpiar la zanja de coronamiento que protege la infraestructura, realizando el retiro de material sólido.
Revisión de fugas en accesorios	Cambiar las piezas y ajustar las roscas desarmando las mismas, previo llenado del tanque de almacenamiento, para evitar el corte del suministro de agua potable.
Revisión del primer cerco perimetral	Ajustar los postes si están movidos, reparar las fundaciones, las sujeción de la malla olímpica.
Revisión del segundo cerco perimetral	Inspección de todo el perímetro del cerco, ajustando los postes de madera y el alambre de púas.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Agua segura para consumo humano.</p> <p>Fácil de construir, con estructuras sencillas de captación.</p> <p>La protección del área de influencia permite un incremento en la cantidad del agua en un mediano y largo plazo, protección de la microcuenca.</p> <p>Contribuye al desarrollo ambiental, social y económico de la microcuenca/cuenca.</p> <p>Protege otras fuentes de agua potenciales para su uso.</p>	<p>Exige un fuerte compromiso de sus habitantes para su cuidado y de la microcuenca/cuenca abastecedora.</p> <p>Las áreas de protección deben ser saneadas o delimitadas (áreas privadas, comunitarias), por parte del Gobierno Municipal.</p>

Referencias

CENTA - FAO – Holanda, *Protección y captación de pequeñas fuentes de agua Una producción del Proyecto.*
 “Agricultura Sostenible en Zonas de Ladera - Fase II”

NB 689 (2004), *Reglamento Técnico de Diseño para Agua Potable, Ministerio de Servicios y Obras Públicas, Vice Ministerio de Servicios Básicos, Bolivia.*

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS

Anexo 1.



Foto1.1 Captación de ladera y primer cerco



Foto 1.2 Segundo cerco

J.1 Captación de aguas de lluvia en techos		J.1
Nivel de empleo (+++) Rural concentrada (++) Rural dispersa (++) Periurbana	Nivel de administración (+++) Familia (++) Familia (++) Familia	Entrada producto : <input type="checkbox"/> Agua Salida del producto : <input type="checkbox"/> Agua segura
Aplicable a zona: (++) Altiplano (++) Valles (++) Llanos		

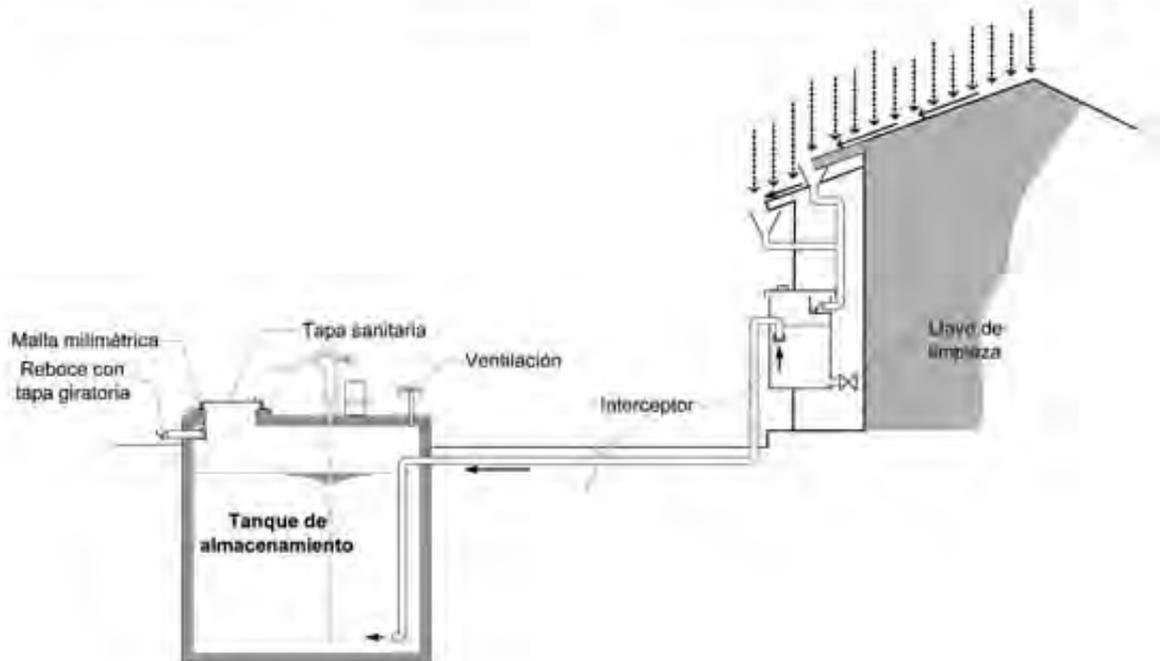


Fig. 1. Sistema de captación de agua de lluvia en techos

DESCRIPCIÓN

La captación de agua de lluvia en techos es una alternativa factible que puede resolver la carencia de agua para consumo humano en lugares donde no se cuenta con fuentes de abastecimiento garantizado, en calidad o cantidad. La tecnología requiere una superficie de techos para la captación de las aguas pluviales, esta puede ser de una vivienda o una cubierta libre de contaminación. El escurrimiento superficial en techos es interceptado, colectado y almacenado en un tanque, que trabaja además como un regulador de caudales. Para su aprovechamiento posterior del agua almacenada, se puede requerir de un sistema de impulsión de agua como una bomba manual, bomba eléctrica u otros, ver Fig. 1.

El sistema se compone de las siguientes partes:

Captación: está conformado por una cubierta o techo de una edificación, deberá estar limpia, libre de aceites, óxidos u otro material.

Recolección y conducción: está conformado por canaletas de recolección del agua pluvial, horizontales y verticales (bajantes). El material puede ser de calamina plana galvanizada, PVC u otro material resistente al agua.

Interceptor: es un recipiente de 60 a 200 L, de plástico, hormigón simple u otro, cuya tarea es recibir las primeras descargas provenientes del lavado del techo o

primeras lluvias. Incluye un tamiz o canastillo para retención de sólidos flotantes o de arena y una llave de paso para el desagüe de sedimentos.

Almacenamiento: es la estructura destinada para almacenar el agua recolectada. Las estructuras más usuales son tanques de ferrocemento, hormigón armado, hormigón ciclópeo, y/o de plástico.

Dependiendo de la calidad del agua recolectada, puede necesitarse de un tratamiento posterior antes de su uso para consumo humano. El tratamiento puede consistir en la remoción de las partículas en suspensión, que no fueron retenidas en el interceptor, así como en la remoción bacteriológica. Para este fin pueden emplearse filtros caseros de arena, desinfección con cloro o mediante el método SODIS, ver Fig.4.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Esta tecnología se aplica en zonas rurales y urbanas, puede resolver la demanda de agua para diferentes usos: riego de jardines, limpieza de vehículos, descarga de inodoros o agua de bebida (dependiendo de la calidad del agua).

No es recomendable su uso como agua de bebida cuando se tienen índices elevados de contaminación atmosférica.

Es aplicable en zonas áridas, que sufren de escases del recurso hídrico y/o vulnerables ante los impactos potenciales del cambio climático.

Es aplicable en zonas o áreas de inundación, donde la captación de agua superficial y/o subterránea no es factible técnicamente o como alternativa de uso en situaciones de desastres naturales.

En el país se tiene poca práctica con esta tecnología, en las Fotos 1.1 y 1.2, se muestra su aplicación en un domicilio de la ciudad de Cochabamba.

CRITERIOS DE DISEÑO

Para el diseño se debe contar con series históricas de las precipitaciones pluviales de al menos diez años, obtenida del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). En caso de no contarse con una estación meteorológica en la localidad o área de estudio, se podrá tomar los datos de la estación más cercana relacionada. La serie de datos históricos debe corresponder al promedio mensual de precipitaciones.

Los consumos de agua de lluvia responden a la demanda del usuario de acuerdo a sus diferentes usos. Para el área rural la demanda se considera de 10 a 25 L/hab. día, destinada a la bebida, preparación de alimentos e higiene personal (lavado de manos y lavado bucal). En centros urbanos el agua de lluvia puede destinarse para riego de jardines, descarga de inodoros, lavado de automóviles y otros usos, dependiendo de las condiciones locales y calidad del agua.

Dimensionamiento del tanque de almacenamiento.

El dimensionamiento del volumen de almacenamiento se determina tomando en cuenta i) análisis de la curva de masas (demanda acumulada Vs. oferta),

calculada con base a información de las precipitaciones mensuales de los últimos 10 años; ii) área de captación del techo de la vivienda en proyección horizontal iii) material de la cubierta del techo, que determina el coeficiente de escorrentía, se debe preferir coberturas con superficies lisas, que no desprendan ni contaminen con ningún tipo de material (calamina de hierro galvanizado, plástico, cerámica, hormigón, etc.).

Oferta:

$$V_i = P_p \times C \times A / 1\ 000$$

Donde:

V_i : Volumen mensual captado (m^3 /mes)

P_p : Precipitación mensual media (mm)

C : Coeficiente de escorrentía de la superficie de techos (calamina 0,90, teja 0,80)

A = Área de captación del techo (s) (m^2)

Demanda:

$$D_i = N \times D \times T_i / 1\ 000$$

Donde:

D_i : Volumen de demanda (m^3 /mes)

N : Numero de usuarios

D : Dotación per cápita

T_i : Número de días del mes analizado

El volumen neto del tanque, es la resultante de la sustracción de los valores máximos y mínimos de los volúmenes acumulados entre la oferta y la demanda (curva de masas),

En la Tabla 1, se muestra los volúmenes netos de cálculo de tanques de almacenamiento, por el método de curva de masas, para las distintas zonas geográficas del país considerando un coeficiente de escorrentía promedio $C=0.80$.

Tabla 1. Volumen neto de tanque de almacenamiento (m³)

Zona geográfica	Precipitación anual (mm) *	Volumen requerido (L/día. Hogar)	Área de techo (m ²)						
			20	30	40	50	60	80	100
Altiplano	623	50			6				
		60				7			
		75					10		
		100						13	
		130							17
Valle	451	50				8			
		60					12		
		75						12	
		100							14
		130							
Llano	1634	50							
		60	5						
		75		8					
		100		10					
		130			12				
Chaco	776	50							
		60			9				
		75				11			
		100					14		
		130							19

* Valores promedios de los últimos 12 años, (1 998 – 2 009), fuente SENAMHI

** Según cálculo de masa

Estaciones pluviométricas: Altiplano: El Alto, Valles: C. Cochabamba

Llanos: Trinidad, Camiri (Chaco)

Volumen máximo de captación:

El volumen máximo de agua de lluvia que puede ser captado en un año se podrá calcular por la siguiente fórmula:

$$V_m = P_a \times C \times A / 1\,000$$

Donde:

V_m: Volumen anual captado (m³/año)

P_a: Precipitación anual media (mm)

C: Coeficiente de escorrentía (techos de calamina 0,90, teja 0,80, paja 0,70)

A: Área de captación del techo (s) (m²)

Esta fórmula es recomendable cuando las precipitaciones son bajas y de corta duración.

Interceptor:

El interceptor es calculado tomando en cuenta la superficie de recolección de techos, asumiendo un volumen de agua almacenada correspondiente a 2 mm de precipitación pluvial.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

El recipiente interceptor de las primeras lluvias, puede ser de plástico, hormigón simple u otro material inoxidable. Lleva una llave de paso que permite desalojar las aguas de las primeras lluvias, también lleva una malla milimétrica de protección contra el ingreso de sólidos, ver Fig. 2.

Existen varias soluciones de ubicación de los tanques, arquitectónicamente puede ser enterrado, semienterrado o apoyado directamente en el piso, ver Fig.3, dependiendo del espacio y la aceptabilidad del usuario. En general se debe ubicar en un lugar fuera de riesgo de cualquier contaminación del entorno. Para la extracción del agua, puede emplearse una bomba manual o eléctrica. Deberá contar con una tapa sanitaria preferentemente metálica, las paredes y el piso deberán ser impermeables y evitar en todo momento el contacto del agua almacenada con el medio ambiente, a fin de garantizar la calidad del agua. Como accesorios a ser instalados se tiene la tubería de rebose, con malla de protección para evitar el ingreso de insectos y animales, tubería de ventilación, de limpieza y válvulas de control.

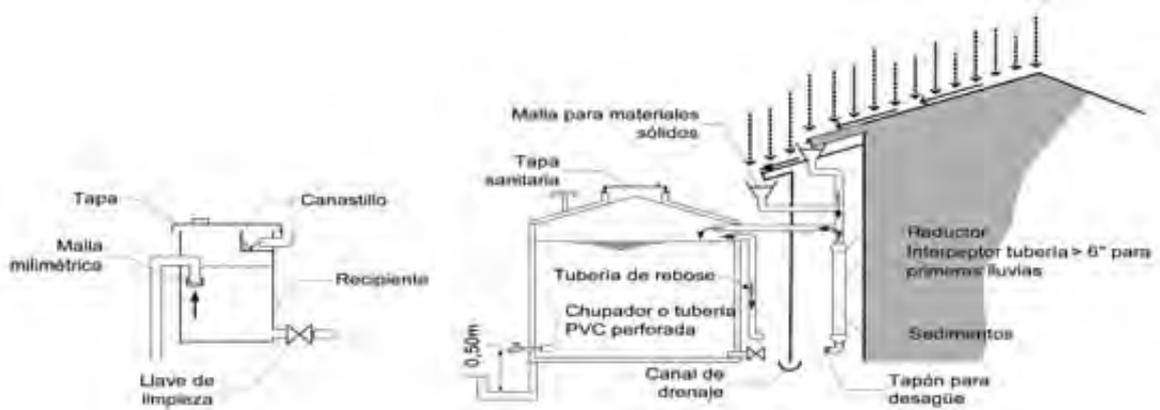


Fig. 2. Detalle del interceptor

Fig. 3. Sistema de captación de lluvia en techos con tanque apoyado s/piso

La Tabla 2, presenta un resumen de costos referenciales para distintos volúmenes de almacenamiento, incluye el interceptor de primeras aguas.

Tabla 2. Captación c/tanques de ferrocemento.
Costos directos referenciales (Bs)

Volumen (m ³)	5	8	10	12	15	18	20
Costo	5 600	9 600	11 100	12 600	15 200	18 400	20 600

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las actividades más frecuentes se traducen en: i) abrir la llave de limpieza para eliminar las primeras lluvias, retirar los materiales sólidos atrapados en el canastillo o tamiz, ii) hacer una limpieza anual del tanque empleando cloro (lavandina, cloro sólido), iii) verificar y/o observar la presencia de mosquitos, revisar el estado de la malla milimétrica, en la salida y los ingresos, iv) limpiar las canaletas de recolección en techos, retirando ramas y/o arbustos que pudieran contener. La Tabla 3, presenta un resumen de las principales tareas de operación y mantenimiento que deben tomarse en cuenta para la aplicación de esta tecnología

Tabla 3. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Verificación de la cubierta y canaletas	Limpiar la cubierta y las canaletas, antes de la época de lluvias, deberán estar libres de sólidos, ramas, arbustos, nidos de aves, etc.
Verificación del interceptor	Limpiar el interceptor previo a las primeras lluvias y hacer el desagüe mediante la llave de limpieza en los periodos de lluvia.
Limpieza del tanque de almacenamiento	Limpiar el tanque antes del periodo de lluvias, retirando los materiales sedimentados. Para esta labor se puede utilizar un cepillo metálico y una solución de cloro de 150 mg/L, concluida la limpieza, desinfectar con una solución de cloro de 50 mg/L, empleando lavandina o cloro sólido.
Limpieza externa	Retirar malezas, materia orgánica, animales muertos, etc. de techos, canaletas y áreas anexas. Considerar un sistema de drenaje de aguas pluviales para evitar la acumulación y estancamiento de aguas.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Mitiga la escases de agua para consumo humano.</p> <p>Alta calidad física y química del agua de lluvia, (en zonas carentes de polución atmosférica)</p> <p>Sistema independiente de agua para viviendas alejadas y dispersas (zonas rurales y periurbanas).</p> <p>Alternativa para el riego de jardines e invernaderos familiares.</p> <p>Empleo de mano de obra y materiales locales.</p> <p>No requiere energía para la operación y mantenimiento.</p> <p>Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua.</p> <p>Fácil de mantener.</p> <p>Considera el agua de lluvia como un recurso, adaptable a los impactos del cambio climático.</p>	<p>Costo inicial elevado, dependiendo de los materiales empleados.</p> <p>Necesita tareas de mantenimiento regulares como protección contra riesgos de contaminación.</p> <p>Cantidad de agua dependiente de la precipitación pluvial de la zona.</p> <p>Atención en las primeras lluvias.</p> <p>Para consumo en ingesta requiere la desinfección con cloro, hervido o el método SODIS.</p> <p>Requiere de cambio de hábitos para su manejo.</p>

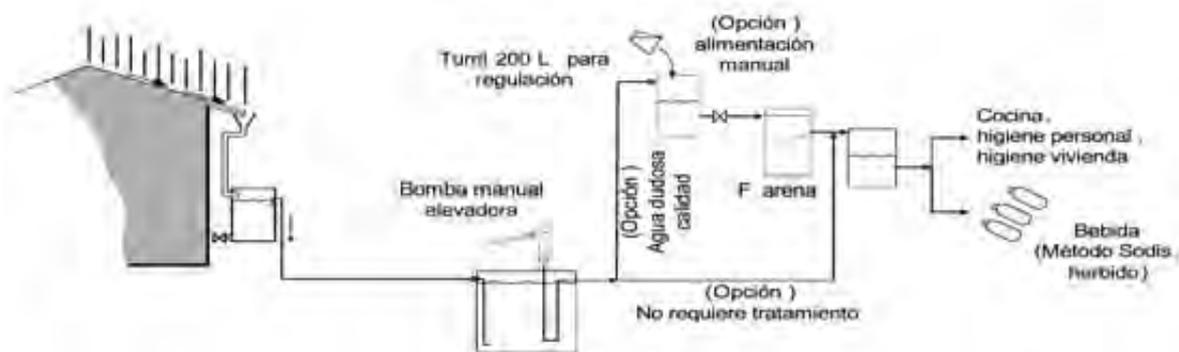


Fig. 4 Captación de aguas de lluvia y tratamiento

Tabla 3. Precipitaciones pluviales anuales promedio en principales ciudades de Bolivia, periodo 1998 - 2009

Periodo	Camiri	Cochabamba	Trinidad	El Alto	Sucre	Yacuiba	Tarja	Potosí	Oruro	Vallegrande
Enero	152,3	103,7	272,8	142,3	144,2	177,4	124,5	87,3	97,1	113,3
Febrero	126,2	100,7	194,3	91,0	125,6	154,7	91,5	71,6	71,5	79,4
Marzo	153,2	63,1	240,7	95,3	91,2	209,1	104,9	49,2	59,7	93,0
Abril	47,1	20,2	118,0	30,1	31,4	78,8	14,2	15,0	18,1	29,9
Mayo	17,4	2,4	57,6	7,3	5,3	12,8	1,2	1,2	2,6	11,6
Junio	7,4	1,5	46,4	6,3	0,3	7,8	0,2	0,1	3,6	10,0
Julio	5,2	4,6	39,0	9,5	2,3	2,8	0,0	1,4	4,3	9,1
Agosto	3,3	1,8	30,7	10,3	5,6	2,7	0,9	1,4	8,6	8,5
Septiembre	18,2	7,5	68,7	24,6	17,1	4,2	10,3	11,2	18,6	10,0
Octubre	45,2	21,4	142,1	54,1	55,9	63,7	51,0	25,0	25,0	32,0
Noviembre	60,2	46,1	160,4	49,1	52,3	101,1	62,0	21,8	30,7	55,6
Diciembre	140,3	77,9	263,7	102,8	100,1	173,9	112,4	50,6	59,6	101,5
Total anual	776,0	450,7	1634,4	622,6	631,4	989,0	573,0	335,7	399,4	553,9

Según estaciones pluviométricas de SENAHMI

Referencias:

OPS – OMS – GTZ, *Tecnologías apropiadas en Agua y Saneamiento*, <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecnologia/index.html>

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PUBLICAS VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BASICOS, *Norma Bolivia NB 689.*

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PUBLICAS VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BASICOS, *Operación y Mantenimiento de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento, para poblaciones menores a 10 000 habitantes.*

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS

Anexo 1



Foto 1.1 Bajante e interceptor
Localidad: Ciudad de Cochabamba



Foto 1.2 Tanque enterrado
Localidad: Ciudad de Cochabamba



Foto 1.3 Tanque sobre el piso

J.2		Captación de agua de lluvia en pisos		J.2	
Nivel de empleo		Nivel de administración		Entrada producto: <input type="checkbox"/> Agua	
<input type="checkbox"/> Rural concentrada		<input type="checkbox"/> Familia		Salida del producto: <input type="checkbox"/> Agua segura	
<input type="checkbox"/> Rural dispersa		<input type="checkbox"/> Familia			
<input type="checkbox"/> Periurbana		<input type="checkbox"/> EPSA			
Aplicable a zona:		<input type="checkbox"/> Altiplano		<input type="checkbox"/> Valles	
		<input type="checkbox"/> Llanos			

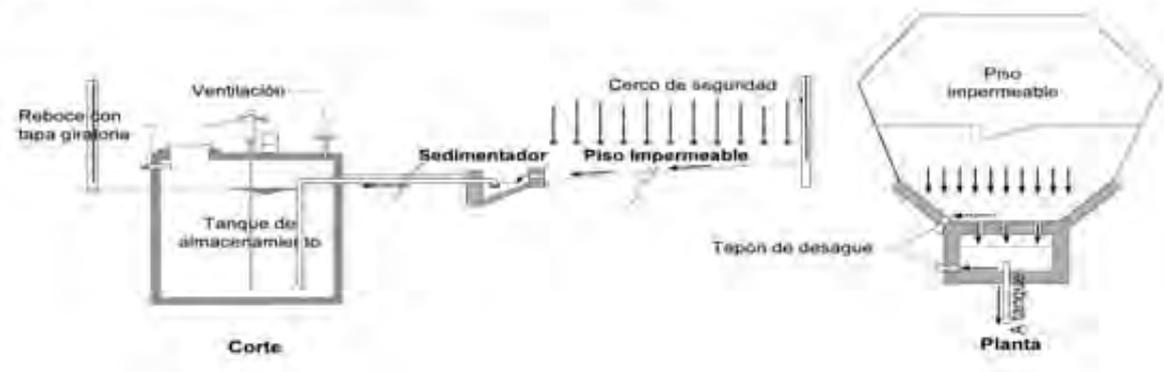


Fig. 1 Sistema captación de agua de lluvia en pisos

DESCRIPCIÓN

La captación de agua de lluvia en pisos, con un tratamiento mínimo, es una alternativa factible que resuelve la carencia de agua para consumo humano en lugares donde no se cuenta con fuentes de abastecimiento accesibles. Para este fin se requiere una superficie de piso que permita la captación de las aguas de lluvia, impermeable, libre de contaminación, donde el agua es interceptada, recolectada y almacenada en tanque(s), para su aprovechamiento posterior. Para la extracción del agua se puede emplear una bomba manual, bomba eléctrica u otro.

El sistema compone de las siguientes partes:

Captación: conformada por una superficie de piso de concreto, empedrado, geomembrana, u otro material impermeable, libre de aceites y óxidos. La recolección y conducción es la misma superficie del piso donde fluye el agua. El área de captación debe estar protegida con un cerco perimetral y un canal de drenaje contra el ingreso de aguas pluviales fuera del área de captación.

Interceptor: es una cámara de sedimentación con un volumen de 60 a 200 L, cuya tarea es recibir las primeras descargas de la lluvia y remover los materiales finos en suspensión, se diseña como un desarenador. Para su limpieza y desagüe se instalan dos válvulas de control.

Tanque de almacenamiento: es la estructura destinada para almacenar el agua recolectada para su consumo en los periodos de escasas. Los tanques más usuales son de ferrocemento, hormigón armado y/o hormigón ciclópeo.

Para su consumo como agua de bebida, es necesario tratar el agua antes de su ingesta, mediante la remoción de las partículas que no fueron retenidas en el interceptor, así como también mejorar la calidad bacteriológica. Dependiendo de la calidad del agua recolectada, el tratamiento puede consistir en un FiME o un filtro casero de arena, seguido de la desinfección con cloro o mediante el método SODIS, ver Fig.4.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Esta tecnología está dirigida a zonas donde es difícil conseguir agua para uso doméstico. Esta solución puede resolver la carencia de agua, para dotaciones mínimas, con un tratamiento simple. Cuando exista polución en el área o riesgo potencial de contaminación se debe evitar el uso para consumo humano, asimismo, en zonas donde exista el empleo de insecticidas para el uso agropecuario.

En el país se tiene poca práctica con esta tecnología, pero en otros países, como en México, la cultura Maya aplicó esta solución para el abastecimiento de agua durante los periodos de estiaje, muchas de ellas aún se encuentran en uso.

CRITERIOS DE DISEÑO

El diseño del tanque de almacenamiento es similar a la tecnología de captación de agua de lluvia en techos, partiendo de la curva de masas con base a información de series históricas del régimen de precipitaciones mensuales de al menos 10 años.

Los consumos de agua de lluvia deben responder a la demanda del usuario (dotaciones, usos a destinarse). Para el área rural se considera una dotación de 10 a 25 L/hab.día, destinada a la bebida, preparación de alimentos e higiene personal (lavado de manos y lavado bucal).

Dimensionamiento

El dimensionamiento de todo el sistema es similar a la tecnología de captación de agua de lluvia en techos, con la diferencia de que el área de captación es una superficie de pisos en contacto directo con el suelo. El tanque de almacenamiento se determina en función al análisis de la curva de masas, teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de los últimos 10 años, y la superficie del piso disponible como área de escurrentía (el coeficiente de escurrimiento es un valor dependiente del tipo de material del piso, C: 0.75 – 0.80).

Se puede emplear la Tabla 1, de la tecnología de captación de agua de lluvia en techos, para la determinación de la superficie de piso requerida para un volumen determinado de demanda de agua de lluvia.

Interceptor:

Es calculado tomando en cuenta la superficie de recolección, asumiendo un volumen de agua correspondiente a 2 mm/d de precipitación pluvial, correspondiente a las primeras lluvias, ver Figs. 2 – 3.

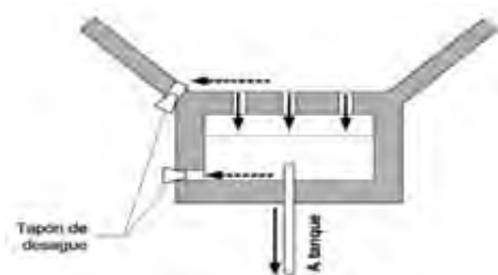


Fig. 2. Planta. Sedimentador

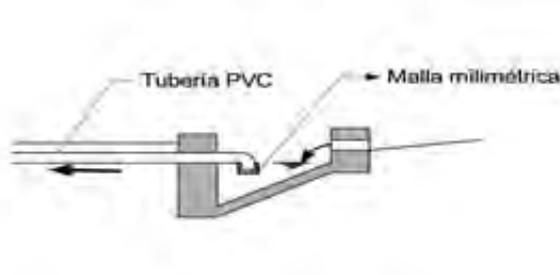


Fig. 3. Corte. Sedimentador

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

El interceptor/sedimentador de primeras lluvias deberá llevar una válvula que permita el drenaje y limpieza de los sedimentos y material acumulado. El tanque de almacenamiento es similar a la descrita en la tecnología de captación de agua de lluvia en techos, debiendo contar con todos los accesorios indicados. En caso necesario y dependiendo del nivel de uso y calidad del agua, se podrá contar con un filtro grueso (FiME) para un tratamiento posterior.

Para la extracción e impulsión del agua almacenada, puede incorporarse una bomba manual o eléctrica.

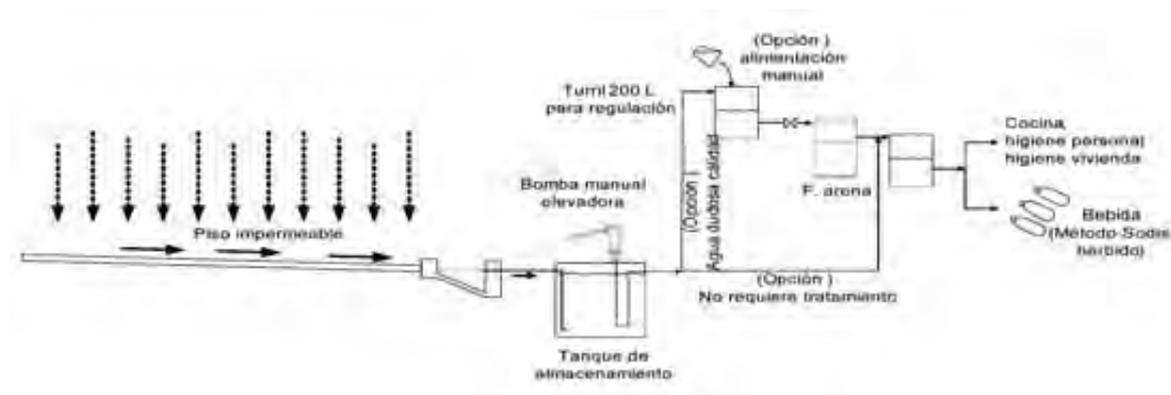


Fig. 4 Captación y tratamiento de agua de lluvia en pisos.

La Tabla 1 y 2, presentan un resumen de los costos directos referenciales del sistema.

Tabla 1. Tanques enterrados con sedimentador. Costos directos referenciales (Bs)

Volumen (m ³)	5	8	10	12	15	18	20
Costo	5 400	9 400	10 800	12 100	14 200	17 200	19 200

Tabla 2. Piso de captación. Costos Directos Referenciales (Bs)

Piso de cemento sobre empiedre (m ²)	Piso de geomembrana e=0,75 mm (m ²)	Techo de calamina No. 30 (m ²)
63	42	60

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las actividades más frecuentes se traducen en destapar los desagües de limpieza para evacuar las primeras aguas, retiro del material acumulado y barrido de la superficie, realizar la limpieza del tanque, empleando cloro (lavandina o cloro sólido), limpiar el sistema de drenaje que rodea la superficie de captación (limpieza de zanjas y retiro de material acumulado). La Tabla 3, muestra un resumen de las tareas necesarias de operación y mantenimiento de este sistema (en muchos aspectos similar a la tecnología de captación de agua de lluvia en techos).

Tabla 3. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Inspección del piso	Limpiar y barrer antes de la llegada de las primeras lluvias, retirar el material sólido, ramas, arbustos, etc.
Inspección del interceptor (sedimentador)	Limpiar el interceptor, previo a las primeras lluvias, y evacuar las aguas abriendo las válvulas.
Limpieza del tanque de almacenamiento	Limpiar el tanque antes del periodo de lluvias, drenando el agua y retirando los materiales sedimentados. Para esta labor se puede emplear un cepillo metálico y una solución de hipoclorito de 150 mg/L. Concluido la misma desinfectar el tanque con una solución de cloro 50 mg/L.
Limpieza externa	Proteger de los charcos de agua, malezas, animales etc., en forma permanente.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Mitiga la escases de agua para consumo humano.</p> <p>Alta calidad física y química del agua de lluvia, (en zonas carentes de polución atmosférica)</p> <p>Sistema independiente de agua para viviendas alejadas y dispersas (zonas rurales y periurbanas).</p> <p>Alternativa para el riego de jardines e invernaderos familiares.</p> <p>Empleo de mano de obra y materiales locales. No requiere energía para la operación y mantenimiento.</p> <p>Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua.</p> <p>Fácil de mantener.</p> <p>Considera el agua de lluvia como un recurso, adaptable a los impactos del cambio climático.</p> <p>Es factible en zonas donde las aguas subterráneas son salinas y no hay otra alternativa de provisión de agua.</p>	<p>Costo inicial elevado, dependiendo de los materiales empleados.</p> <p>Necesita tareas de mantenimiento regulares como protección contra riesgos de contaminación.</p> <p>Cantidad de agua dependiente de la precipitación pluvial de la zona.</p> <p>Atención en las primeras lluvias.</p> <p>Para consumo en ingesta requiere la desinfección con cloro, hervido o el método SODIS.</p> <p>Requiere de cambio de hábitos para su manejo.</p>

Referencias:

OPS – OMS – GTZ, Tecnologías apropiadas en Agua y Saneamiento

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PUBLICAS VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BASICOS, Norma Bolivia NB 689.

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PUBLICAS VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BASICOS, Operación y Mantenimiento de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento, para poblaciones menores a 10.000 habitantes.

*Zapata Peraza, Renée Loreley (1989): Los Chultunes, sistema de captación y almacenamiento pluvial, INAH, México

T.1 Filtración en Múltiples Etapas (FIME)		Aplicable a: Sistema 1	T.1
Nivel de empleo	Nivel de administración	Entrada producto: <input type="checkbox"/> Agua cruda	
<input type="checkbox"/> Rural concentrada	<input type="checkbox"/> EPSA		
<input type="checkbox"/> Rural dispersa	<input type="checkbox"/> EPSA	Salida del producto: <input type="checkbox"/> Agua segura	
<input type="checkbox"/> Periurbana	<input type="checkbox"/> EPSA		
Aplicable a zona:		<input type="checkbox"/> Altiplano	<input type="checkbox"/> Valles <input type="checkbox"/> Llanos

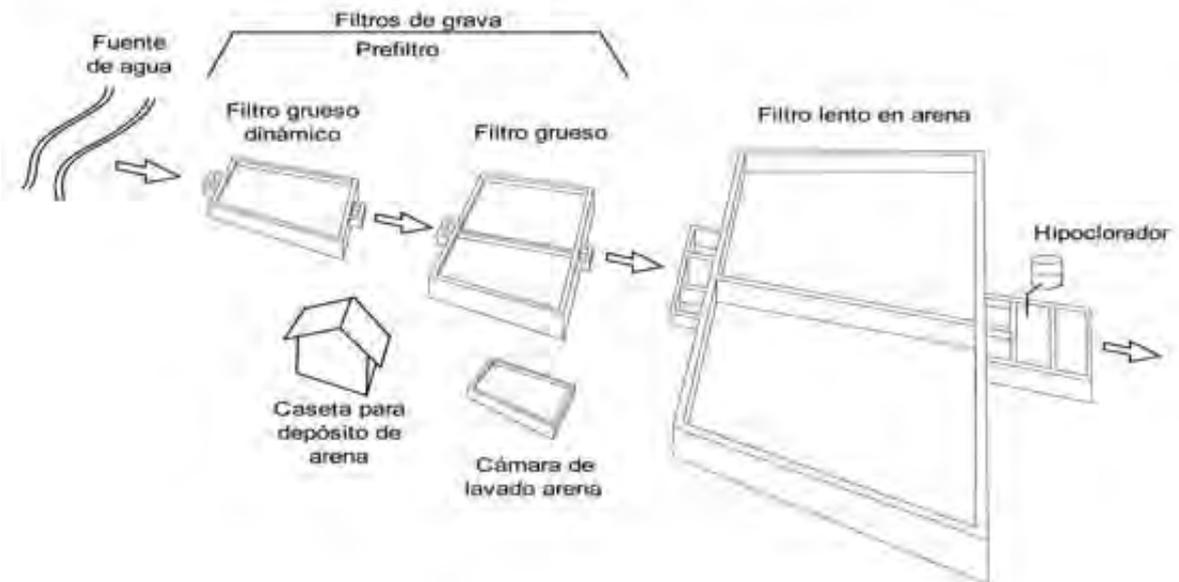


Fig. 1. Planta FiME de tratamiento del agua para consumo humano

DESCRIPCIÓN

La Filtración en Múltiples Etapas (FiME), es un sistema de tratamiento de agua para consumo humano, donde se tienen procesos físicos, químicos y biológicos, mediante un sistema de multibarreras de grava y arena, que permiten remociones de contaminantes en forma progresiva, hasta lograr una calidad de agua apta para su consumo, dependiendo de la calidad del agua de la fuente. Todo el proceso es natural, no se utilizan reactivos químicos, es simple en su operación y mantenimiento, logrando resultados satisfactorios dependiendo de la calidad del agua cruda en la fuente. En función del grado de turbiedad, sólidos suspendidos y contenido de coliformes fecales en el agua de la fuente, se determinará la selección mas adecuada de la alternativa de tratamiento. La tecnología fue desarrollada por el Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA) de la Universidad del Valle – Colombia.

Dependiendo de la calidad del agua, las eficiencias logradas en distintas experiencias muestran remociones en turbiedad (< 5.0 UNT en el efluente), coliformes fecales (entre 98-99 %), color real entre 86 - 89 %, hierro y manganeso mayor al 90%. Estos resultados obtenidos dependen de las condiciones de tratabilidad del agua, tipo de fuente (superficial, subterránea), concentración y composición de los contaminantes, temperatura, etc.

Según los datos de eficiencia indicados, la tecnología FiME permite contar con agua segura para el consumo humano, es aplicable en el área rural, pequeñas localidades, y sistemas descentralizados en zonas urbanas. En Bolivia la tecnología FiME fue aplicada a partir de los años 90', con las primeras plantas construidas en el departamento de Chuquisaca (Padilla, Sopachuy). Como parte del proceso de implementación se contó con la asistencia técnica del CINARA. Posteriormente se han construido diversas plantas en varias localidades tal como se observa en la lista indicada más adelante.

Componentes

La Filtración en Múltiples Etapas (FiME), posee tres unidades o barreras de tratamiento i) filtro grueso de grava dinámica (FGDi), como primera barrera de seguridad, ii) filtro grueso de grava ascendente (FGA) y iii) filtro lento de arena (FLA), como ultima barrera. Todas estas unidades tienen distintas granulometrías de material filtrante, que permiten grados de eficiencia en la remoción progresiva de los diferentes contaminantes. El proceso empieza por separar primero el material más pesado o de mayor tamaño y gradualmente avanza en la remoción de las partículas más pequeñas, incluyendo microorganismos, produciendo de esta manera agua de buena calidad. El tratamiento incluye la desinfección por seguridad como etapa final, ver Fig. 1.

Filtro Grueso dinámico (FGDi)



Fig. 2 Esquema del Filtro Grueso Dinámico (FGDi)

Esta primera barrera tiene al menos dos módulos en paralelo que operan con flujo descendente, alojan tres lechos de grava de tamaño variable, la más gruesa en el fondo y la más fina en la superficie. La unidad trabaja con valores bajos de carga superficial, permitiendo de este modo el desarrollo del proceso de sedimentación como mecanismo de remoción de los materiales sólidos en suspensión. El agua que ingresa al FGDi se percola a través del material filtrante para ser recolectado y conducido a la siguiente unidad de tratamiento. La función de esta unidad es de controlar los picos de turbiedad, protegiendo a las otras unidades de tratamiento, reteniendo los sólidos suspendidos y material sedimentable; si estos alcanzan valores muy elevados, la capa superior del material filtrante se colmata, restringiéndose parcial o totalmente el flujo, momento en el cual se debe proceder con la limpieza del filtro.

De acuerdo a la experiencia colombiana (Valle del Cauca), los valores de remoción de contaminantes en los FGD, tratando aguas superficiales, muestran los siguientes valores:

Sólidos suspendidos; 70 – 80%
 Turbidez; 30 – 50%
 Color verdadero; 10 – 25 %
 Hierro; 40 – 70%
 Manganeso; 40 – 60%
 Coliformes fecales; 50 – 80 %, para agua bruta con 2 000 – 100 000 UFC/100 ML y un contenido de sólidos suspendidos de 10 – 50 mg/L.

Filtración Gruesa Ascendente (FGA):

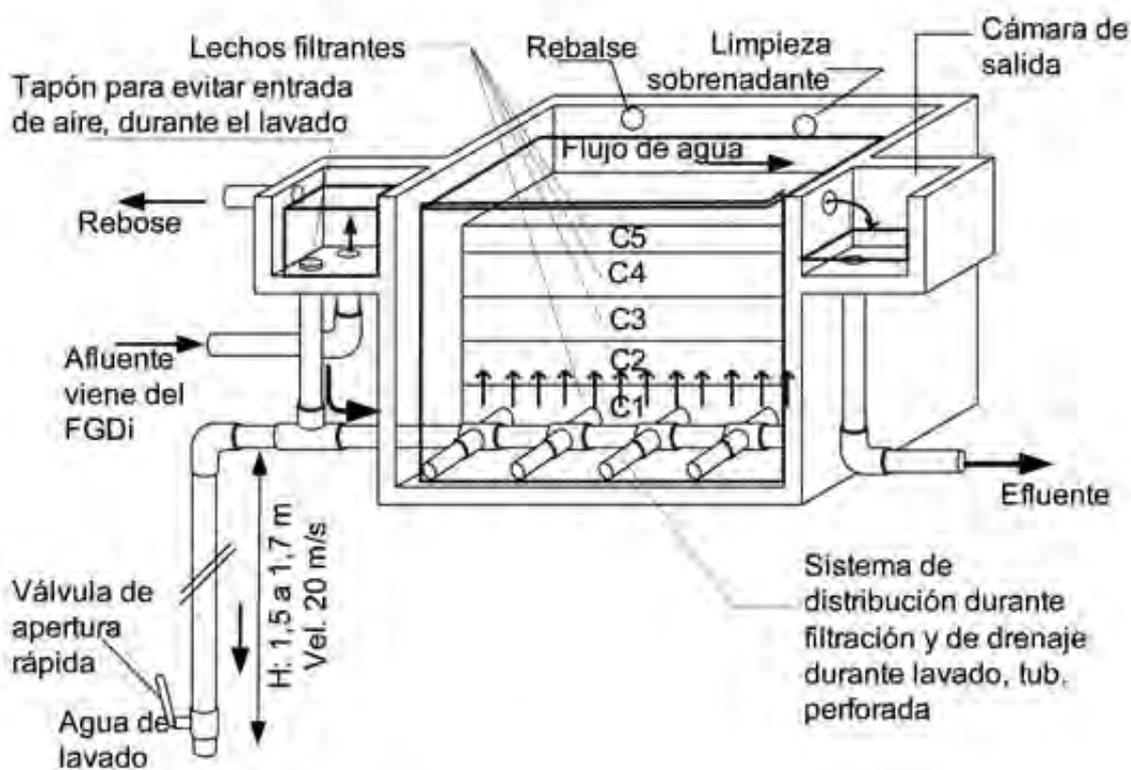


Fig. 3 Esquema de un Filtro Grueso Ascendente en Capas (FGAC)

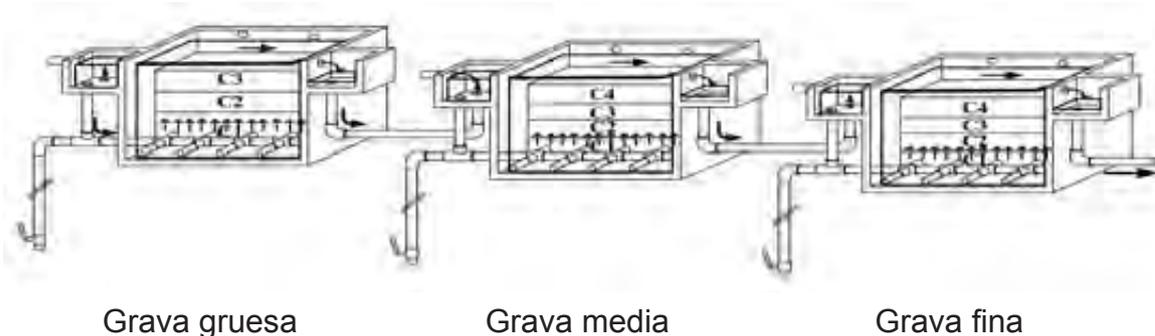


Fig. 4 Esquema de un Filtro Grueso Ascendente en Serie (FGAS)

La filtración gruesa ascendente, ver Fig.3, consiste en una o mas unidades conteniendo barreras de material filtrante (grava). Pueden ser de dos tipos; i) Filtración Gruesa Ascendente en Capas (FGAC), conformada por una sola unidad con lechos de grava de diferente tamaño, gruesa en el fondo, y fina en la superficie,

sobre una cama de grava gruesa de distintos diámetros, de menor a mayor en sentido del flujo del agua, que constituye el medio de soporte y de transición donde se instala el sistema de recolección de agua filtrada. Este sistema, generalmente esta constituido por tuberías perforadas de PVC, ver Fig. 5.

El tratamiento del agua en esta unidad elimina las impurezas mediante una combinación de procesos físicos (sedimentación, cribado, adsorción), químicos y bacteriológicos. El objetivo principal de un FLA es la remoción de organismos patógenos presentes en el agua, particularmente de bacterias y virus, logrando eficiencias entre el 90 – 99%. El proceso de tratamiento se inicia en el agua sobrenadante y se desarrolla fundamentalmente en el lecho de arena fina, en cuya capa superior se forma una capa biológica donde se desarrollan organismos depredadores de bacterias como los protozoarios. Los FLA son también eficientes en la remoción de materia en suspensión, sin embargo, si las condiciones del agua cruda presentan niveles de turbiedad mayores a 5 – 10 UNT, se producirá una rápida colmatación del lecho filtrante, requiriendo su limpieza inmediata.

De acuerdo a la experiencia colombiana, los valores de remoción de contaminantes a través del FLA muestran los siguientes valores:

Sólidos suspendidos: Entre 70 y 80 %, con fuentes de 10 a 200 mg/L de SS.
Turbiedad: Generalmente se produce un efluente con una turbiedad < 1 UNT.
Color real: Entre 30 y 90%, siendo 30% la eficiencia más usual
Hierro y manganeso: Puede ser significativamente removido, pero no puede recibir más de 1 mg/L, para valores superiores requiere de un pretratamiento.
Coliformes Fecales: Entre 90 y 99 % y aún mayores.

Desinfección: Como última barrera de seguridad se implementará el equipamiento para la desinfección mediante cloro (hipoclorador de goteo).

CRITERIOS DE SELECCIÓN:

En el Anexo 1, Tabla 1.1, se muestra un modelo de selección de la tecnología FiME desarrollado por CINARA. Se toma en cuenta parámetros de calidad como turbiedad, Color Real, y Coliformes fecales, recomendándose adoptar los valores más conservativos de diseño.

Para fines constructivos, previamente se deberá explorar la existencia del material filtrante en la zona, con las características especificadas o para su preparación.

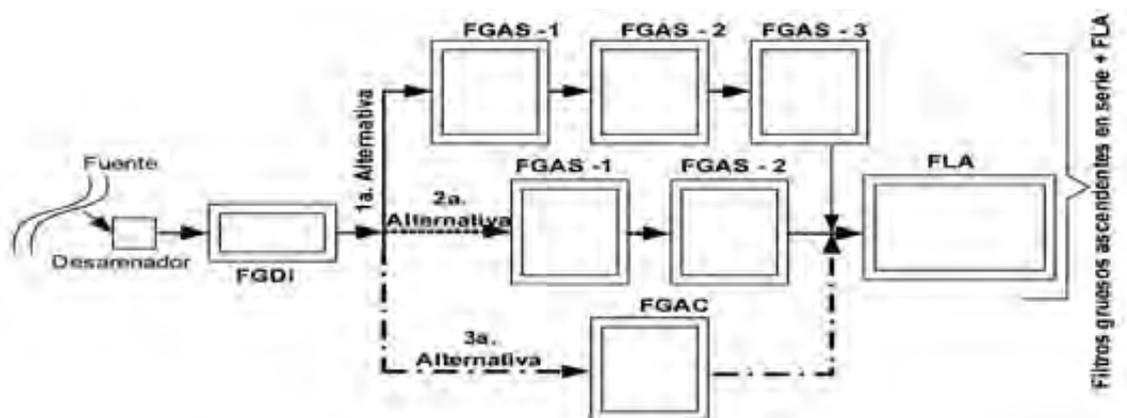


Fig. 6 Esquema de alternativas de solución FiME

En el país se han construido varias plantas de esta tecnología, como se indica en la Tabla 1. siguiente. Las primeras plantas se construyeron en los años 90 promovidas por el Programa Rural de Preinversión en Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado a nivel de Diseño Final” (PRORPAAL), que impulsó la transferencia de tecnología a través del CINARA.

Tabla 1. Algunos sistemas FIME construidos en Bolivia

Departamento	Municipio	Localidad
Chuquisaca	Monteagudo	Monteagudo
Chuquisaca	Padilla	Padilla
Chuquisaca	Sopachuy	Sopachuy
La Paz	Achacachi	Cachilipe, Tacamara
La Paz	Laja	Masaya
Santa Cruz	Villamontes	Villamontes (2 plantas)
Chuquisaca	Muyupampa	Muyupampa

CRITERIOS DE DISEÑO

FGDi:

La Tabla 1.2 del Anexo, presenta una guía preliminar de diseño recomendada por CINARA.

El área superficial de la unidad A_s (m²), se calculará por la formula $A_s = Q_f / V_f$;
largo $l = A_s / b$

Donde:

Q_f = Caudal de diseño, igual a la capacidad del FGD_i (m³/h)

V_f = Velocidad de filtración (m/h)

A_s = Área superficial (m²)

b = Ancho (m)

El ancho b , depende de la velocidad superficial V_s (m/s) adoptada, la misma que oscila entre 0,15 a 0,30 m/s, dependiente del material predominante en el agua cruda.

FGA:

En las Tablas 1.3 y 1.3.1 de Anexo se adjuntan unas guías para diseño y especificaciones de granulometría, altura de los lechos y otros desarrollados por CINARA. Para las perdidas de carga se recomienda considerar una diferencia de 20 cm entre los tirantes de los filtros en serie.

Para el dimensionamiento del filtro grueso ascendente, se considera la formula $A_s = Q_f / V_f$

Donde:

Q_f = Caudal de diseño, igual a la capacidad del FGA (m^3/h)

V_f = Velocidad de filtración (m/h)

A_s = Área superficial (m^2)

FLA:

Para el dimensionamiento del Filtro Lento en Arena, se toma en consideración la misma fórmula del FGA y la tabla 1.4 (CINARA), que permite su dimensionamiento considerando el funcionamiento mínimo de 2 unidades paralelas, para facilitar las tareas de mantenimiento.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS:

Las estructuras constructivas más recomendables son las de hormigón armado, ferrocemento (tanques circulares) y las de mampostería de piedra o de ladrillo. Las tuberías de ingreso/salida, drenaje, limpieza, pueden ser de PVC. Los accesorios empleados son de fierro galvanizado y las válvulas de control de bronce u otro material resistente a la corrosión.

Para el filtro grueso dinámico y los filtros gruesos, el material grueso deberá ser de canto rodado seleccionado cuidando de cumplir con la granulometría especificada. Para el filtro grueso en particular, la válvula de apertura rápida puede ser de media vuelta o denominada también como válvula globo (tipo bola), tiene la ventaja de permitir un cierre rápido en una sola vuelta, en el mercado local se pueden conseguir válvulas con diámetros de hasta 6".

Para el filtro lento el material más importante y que merece la mayor atención es la adquisición de la arena fina, la misma que deberá cumplir las siguientes especificaciones:

Diámetro efectivo de 0,15 a 0,35 mm, y un coeficiente de uniformidad entre 2 – 4. La arena más fina producirá una mejor calidad del agua, en función del contenido de contaminantes, pero aumentará la pérdida de carga hidráulica, lo que reducirá el periodo de funcionamiento del filtro entre dos limpiezas sucesivas (carrera del filtro). El coeficiente de uniformidad es la relación entre el diámetro efectivo $C_u = d_{60}/d_{10}$, donde d_{10} , es la abertura del tamiz a través del cual pasa el 10 % (en peso) de los granos (diámetro efectivo) y d_{60} , es la abertura del tamiz a través del cual pasa el 60 % (en peso) de los granos. En Fig. 7 se observa un ejemplo de determinación del diámetro efectivo. La arena debe tener una buena dureza, resistente a la fragmentación, libre de arcilla, tierra o materia orgánica. Otro parámetro de calidad esta relacionado con el contenido de carbonato de calcio, cuya disolución incrementa la dureza del agua, por esta razón la solubilidad de la arena en hipoclorito no debe exceder el 5% después de 30 minutos.

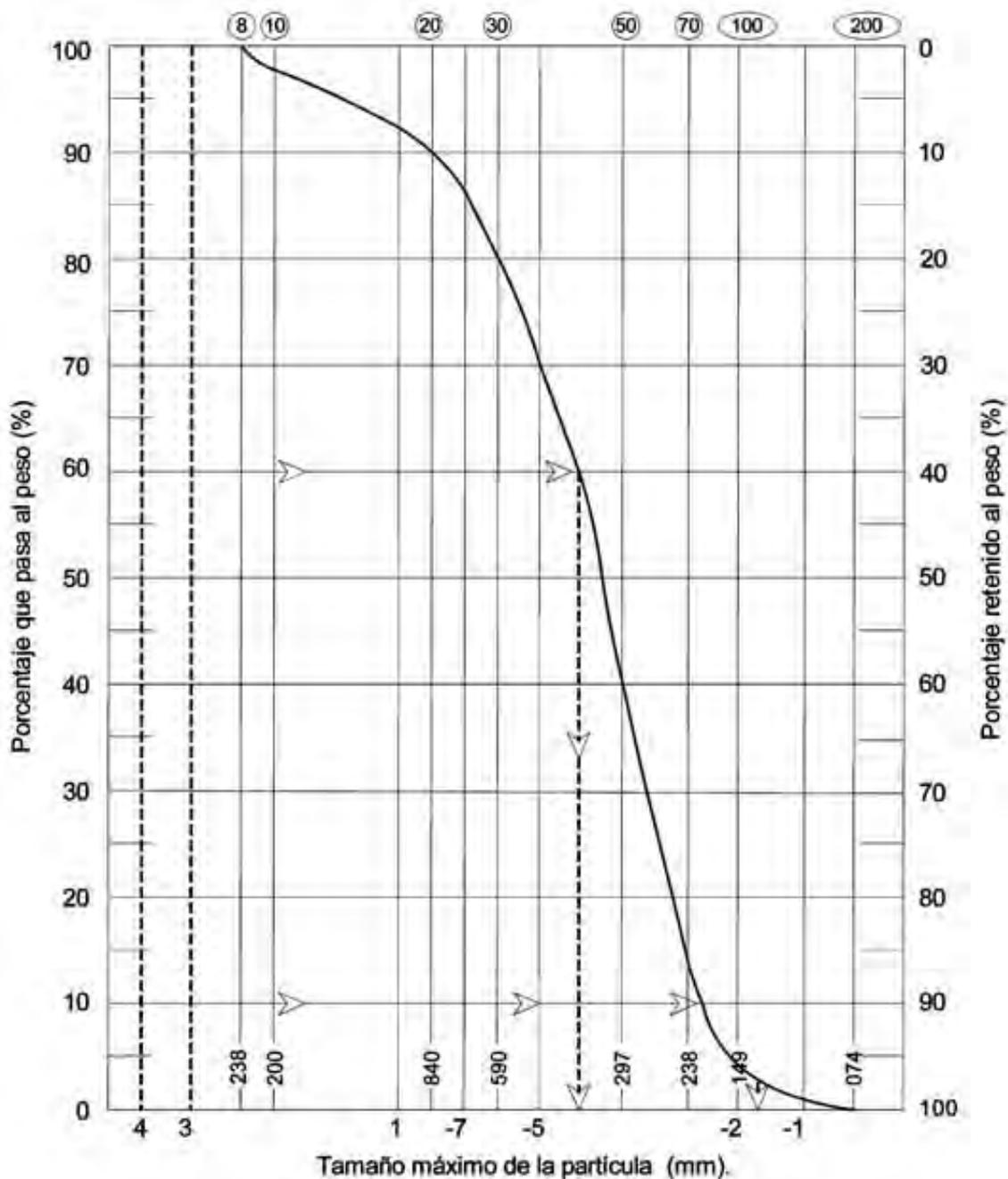


Fig.7 Curva granulométrica de una muestra de arena fina

Un accesorio que permite la limpieza superficial de los sobrenadantes en el filtro lento, es el **cuello de ganso** , este accesorio, desarrollado por CINARA, puede trabajarse localmente, con la ayuda de tuberías de PVC y con la incorporación de una pequeña longitud de manguera corrugada de goma sujeta con abrazaderas.

Para los canales y cámaras de recolección de agua filtrada se recomienda el revestimiento de las paredes con azulejo, asimismo, la colocación de tapas sanitarias fáciles de accionar.

Para las tareas de operación y mantenimiento se deberá incorporar una caseta o depósito para almacenar el material filtrante de reemplazo, también se deberá

considerar un depósito/cámara para el lavado de arena filtrante retirada durante el proceso de limpieza de los filtros, ver Fig. 1.

La Tabla 2, muestra costos referenciales de plantas FiME.

Tabla 2. FiME para un caudal de 1,0 (L/s), Costos directos referenciales (Bs)

Filtro Grueso Dinámico	Filtro Grueso Ascendente	Filtro Lento	Cámara de lavado	Total Bs.
8 000	27 000	66 000	2 000	103 000

Para otros caudales el costo puede estimarse en forma lineal, t/c 7,06 bs./USD
El costo para la caseta para depósito de arena deberá considerarse 600 Bs/ m²

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las tareas más representativas para cada unidad son las siguientes, ver Tabla 3:

Filtro Grueso Dinámico: Control del caudal afluente al filtro, ajustar la válvula de acuerdo al caudal requerido en las otras unidades. En caso de turbiedades mayores a los niveles esperados, debe realizarse el mantenimiento cerrando la válvula de salida y realizando la limpieza o lavado del material grueso.

Filtro Grueso Ascendente: Retirar el material flotante mediante una red. Realizar la medición y control del caudal de ingreso ajustando la válvula de entrada, medir la turbiedad. Cuando se constate que la turbiedad del efluente es superior a la esperada cerrar la válvula de ingreso para proceder con la limpieza del filtro. Efectuar el lavado del filtro mediante la maniobra de la válvula de drenaje de apertura rápida, realizada de manera rápida, instantánea y repetitiva de forma tal que facilite el desprendimiento y evacuación del material acumulado en el lecho filtrante (mayormente en el lecho inferior).

Filtro Lento de Arena: El retiro del material sobrenadante se realiza con el dispositivo denominado cuello de ganso. Si el agua alcanza el nivel de rebose, por efecto del aumento de la pérdida de carga, se suspende la entrada de agua cruda al módulo cerrando la válvula de control, para luego proceder con las tareas de limpieza del filtro. Evacuar la capa sobrenadante de agua hasta unos 20 cm por debajo del lecho filtrante, se retiran 1 o 2 cm de arena mediante la técnica del raspado, nivelando posteriormente toda la superficie del lecho. Este ejercicio se repite cada vez que sea necesario limpiar el filtro, hasta llegar a un espesor mínimo de arena de 50 cm (considerando que el lecho filtrante de arena tiene un espesor total de 80 cm). Una vez que se alcanza el espesor mínimo de arena, se procede con el proceso de rearenamiento que consiste en la colocación de arena nueva hasta alcanzar un espesor 80 cm. Dependiendo de las condiciones locales (temperatura), se debe permitir un proceso de maduración biológica del filtro de al menos 1 – 2 días antes de su puesta en funcionamiento. La eficiencia del FLA, debido a la actividad biológica, es mejor en un rango de temperaturas de 10 – 20°C, con mejores resultados a los 20°C.

Tabla 3. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones claves
Filtro Grueso Dinámico	
Control del caudal de ingreso	Revisar el caudal afluente al filtro. Ajustar la válvula de entrada, según se requiera.
Control del caudal de salida	Revisar el caudal efluente. Decidir la necesidad de mantenimiento en el filtro (limpieza).
Medición de turbiedad	Con el equipo de campo, medir la turbiedad del agua afluente y efluente. Decidir sobre la necesidad de efectuar mantenimiento.
Registro de Información	En el libro de registro diario, anotar el valor de turbiedad del agua, la fecha de lavado y otras observaciones que se consideren importantes.
Filtro Grueso Ascendente	
Medición y control de caudal	Verificar el nivel de agua en la reglilla de aforo de cada unidad. Ajustar la válvula de entrada hasta alcanzar el caudal de operación.
Medición de turbiedad	Medir turbiedad del agua a la entrada del filtro. Cerrar válvula cuando la turbiedad del agua afluente sea mayor que el valor previsto para operación normal.
Retiro de material flotante	Retirar el material desprendido del lecho filtrante con una red pequeña.
Registro de información	Anotar en el libro de registro diario los valores de turbiedad en el ingreso y salida del filtro. Cambios en el caudal durante el día. Fecha de lavado del filtro y otros detalles importantes.
Medición de pérdida de carga	Medir el nivel de agua en la cámara de entrada al filtro. Lavar el filtro cuando la pérdida de carga sea mayor que el valor esperado al finalizar la carrera de filtración.

Tabla 3. (Continuación) Actividades Principales de Operación y Mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Filtro Lento de Arena	
Llenar el filtro lentamente y en forma ascendente	Abastecer la unidad hasta que el agua aparezca sobre la superficie de arena, llenando en contra flujo con agua limpia.
Nivelar la superficie del lecho de arena.	Abrir la válvula de vaciado para descender el nivel de agua hasta 0.1 m debajo de la superficie de arena. Nivelar las irregularidades en la superficie de arena.
Poner en marcha el filtro	Realizar nuevamente el llenado en forma ascendente hasta que el nivel del agua alcance 0,2 m sobre la superficie de arena. Abrir la válvula de entrada de regulación del filtro y mantener la compuerta a velocidad de filtración en 0,02 m/h. Abrir la válvula de desagüe de la cámara de agua filtrada. Aumentar la velocidad de filtración 0,02 m/h cada semana hasta alcanzar la velocidad de diseño (generalmente 0,10 ó 0,15 m/h). El aumento de la velocidad de filtración esta sujeta a la calidad del efluente (menor a 5 UNT).
Retirar material flotante	Retirar material desprendido del lecho filtrante empleando una red de material sintético.
Revisar calidad del agua	Durante el período de maduración del filtro, medir a diario si el agua filtrada reúne los criterios de calidad acordados para suministro.
Alimentación del agua filtrada al sistema de distribución	Cuando la calidad el agua filtrada sea aceptable, cerrar la válvula de desagüe del agua filtrada y abrir la válvula de distribución.
Operación normal Remover el material flotante	Retirar material desprendido del lecho filtrante con una red
Medir la velocidad de filtración	Verificar en la regla de aforo o vertedero.
Regular la velocidad de filtración	Manipular la válvula de entrada para mantener la velocidad de filtración constante.
Decidir la limpieza del lecho	Cuando la altura del agua alcance el nivel de la tubería de rebose, se debe suspender el funcionamiento del filtro en servicio e iniciar su limpieza. Programar la limpieza de manera que solo una unidad salga de operación, mientras la otra sigue en operación.

Para las tareas rutinarias es recomendable que la planta de tratamiento FiME cuente al menos con un laboratorio portátil de aguas.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Simplicidad de construcción con materiales locales.</p> <p>La operación y mantenimiento es simple, no requiere de personal calificado.</p> <p>Solo requiere de un equipamiento básico para su mantenimiento.</p> <p>Para el lavado del FGA, solo requiere la maniobra la llave de apertura rápida.</p> <p>Es aplicable en zonas rurales y periurbanas.</p>	<p>La turbiedad elevada a los niveles esperados, puede perjudicar el normal funcionamiento.</p> <p>La arena fina para el filtro lento puede que no sea disponible en el lugar. Requiere especial cuidado en su preparación y colocación.</p> <p>Demanda mayor área de terreno para su implementación, por consecuencia mayor costo, (caudales mayores a los 10 L/s).</p> <p>El FLA se colmata prematuramente si el contenido de Fe y Mn es superior a 1,0 mg/L.</p> <p>No se aplica a fuentes superficiales que contengan elevados contenidos de partículas coloidales.</p>

Referencias:

CINARA, *FILTRACION EN MULTIPLES ETAPAS*, Tecnología innovativa para el tratamiento de agua 1999.

CINARA, OPS, *Filtración lenta en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades* J.T. Visscher, R. Paramasivan, A. Raman, H.A. Heijnen 1992.

CINARA, PLADECOP, MINISTERIO DE SALUD, UNICEF, IRC, OMS: *Que Agua Beberemos*.

MINISTERIO DE VIVIENDA Y SERVICIOS BASICOS, *Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable para Poblaciones menores a 5.000 Habitantes* 199.

OPS/CEPIS/ UNATSABAR; *Guía para Diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas*, 2005.

OPS/OMS/CEPIS, COSUTE, *Guía de Operación y Mantenimiento de Sistemas de Filtraciones de Múltiples Etapas*, 2 005.

Alvaro Camacho G. Sistema FiME en Bolivia, 2003, alcamachog@hotmail.com

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS

Anexo 1 Tablas

Tabla 1.1 Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas, FIME (1)

Coliformes fecales (UFC/100 ml)	Turbiedad (UNT)	<10	10-20	20-50	50-70 ⁽²⁾
	Color Real (UC)	<20	20-30	30-40	30-40 ⁽²⁾
500 - 10000	Sin FGA	FGAC _{0,6}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,0,3}	
	FGAC _{0,6}	FGAC _{0,6}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,0,3}	
	FGAC _{0,45}	FGAC _{0,45}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,0,3}	
10000 - 20000 (2)					

- (1) Todas las opciones de pretratamiento inclusive aquella sin FGA, incluye dentro de sus componentes de tratamiento, FGD_i con velocidad de filtración 2.0 m/h y FLA con velocidad 0.15 m/h.
 (E) subíndice del pretratamiento indica la velocidad de filtración recomendada en m/h.)
 (2) Para valores superiores a 70 UNT; 20000 UFC/100 ml. o 40 UC. se recomienda realizar estudio en planta piloto.
 Clasificación de fuentes según el rango de calidad:



Referencias:
 FGA: Filtro grueso ascendente
 FGD_i: Filtro grueso dinámico
 FGAC: Filtro grueso ascendente en capas
 FGAS 3: Filtro grueso ascendente en serie (3 etapas)
 Fuente CINARA 1999

Tabla 1.2 Guías de diseño para filtros gruesos dinámicos (FGDi)

Criterios de diseño	Valores recomendados
-Periodo de diseño(años)	8 - 12
-Periodo de operación(h/d) (*)	24
-Velocidad de filtración(m/h)	2 - 3
-Número de unidades en paralelo	2
-Area de filtración por unidad(m ²)	< 10
-Velocidad superficial del flujo durante el lavado superficial(m/s)	0,15 - 0,3
-Lecho filtrante	
* Longitud (m)	0,6
* Tamaño de gravas(mm)	Según tabla 1.2.1
-Altura del vertedero de reboce(m)	0,03 - 0,05 (**)

- (*) En estaciones de bombeo de agua con periodos de operación inferiores a 24 h/día, se recomienda proyectar un almacenamiento de agua cruda a partir del cual se suministre agua de manera continua al FGD_i y demás componentes de FIME.
 (**) Medidos a partir del lecho superficial de grava fina.

Tabla 1.2.1 Especificaciones del lecho filtrante recomendado para filtros gruesos dinámicos

Posición en la unidad	Espesor de la capa (m)	Tamaño de grava (mm)
Superior	0,20	3,0 - 6,0
Intermedio	0,20	6,0 - 13,0
Inferior, fondo	0,20	13,0 - 25,0

Fuente: CINARA – IRC (1997)

Tabla 1. 3. Guías de diseño. Filtros gruesos ascendentes (FGA)

Parámetro	Valor recomendado
Periodo de diseño (años)	8 – 12
Periodo de operación (horas)	24
Velocidad de filtración (m/h)*	0,3 – 0,6
No. mínimo de unidades:	1
FGAC	2 - 3
FGAS	15 – 25
Área de filtración por cada unidad (m ²)	
Espesor total de lecho filtrante, incluyendo el soporte (m):	
FGAC	0,90 – 1,20
FGAS2**	1,80 – 2,40
FGAS3***	2,70 – 3,60
Tamaño del material filtrante (mm)	De acuerdo a Tabla 1.3.1
Altura del agua sobrenadante (m)	0,10 – 0,20
Carga estática de lavado (m)****	2,5 – 3,0

Tabla 1.3.1. Lechos filtrantes recomendados en FGA

Tamaño de grava (mm)	Altura(m)					
	FGAC	FGAS 2		FGAS 3		
		1	2	1	2	3
19 – 25	0,30*	0,30*		0,30*	0,20*	
13 - 19	0,20 – 0,30	0,30 – 0,45	0,20*	0,15	0,15*	0,15*
6 - 13	0,15 – 0,20	0,30 – 0,45	0,15 *	0,45 – 0,75	0,15*	0,15*
3 - 6	0,15 – 0,20		0,30 – 0,45		0,40 – 0,70	0,15*
1,6 - 3	0,10 – 0,20		0,25 – 0,40			0,45 – 0,75
Total(m):					0,50	
* Soporte	0,30	0,30	0,35	0,30	0,40 – 0,70	0,45 – 0,75
* Lecho filt	0,60 – 0,90	0,60 – 0,90	0,55 – 0,85	0,60 – 0,90		

Tabla 1.4 Criterios de diseño recomendados para unidades de filtración lenta en arena FLA

Criterios de diseño	Valores recomendados
Periodo de operación (h/d)	24
Periodo de diseño (años)	8 - 12
Velocidad de filtración (m/h)	0,1 - 0,3
Altura de arena (m)	
inicial	0,8
mínima	0,5
Diámetro efectivo (mm)	0,15 - 0,30
Coeficiente de uniformidad	
Aceptable	< 4
Deseable	< 2
Altura de lecho de soporte, incluye drenaje (m)	0,25
Altura de agua sobrenadante (m)	0,75
Borde libre (m)	0,1
Área superficial máxima por módulo (m ²).	<100

Fuente: CINARA – IRC (1997)

Criterios para los pisos ecológicos de Bolivia

Criterios de diseño	Andina	Valle	Llanos
Velocidad de filtración (m/h)	0,10 - 0,15	0,15 - 0,30	0,20 - 0,30
Altura de sobrenadante (m)	0,80	0,80	0,75

Fuente: Toms, L.P. and Bayley (1988), experiencia de los Consultores

Anexo 2. Figuras



Fig. 2.1 Perfil hidráulico típico FIME

Anexo 3.



Foto 3.1. FIME Localidad de Cachilipe, Municipio Achacachi



Foto 3. 2 Filtro grueso Ascendente en capas, Loc. Cachilipe Municipio Achacachi

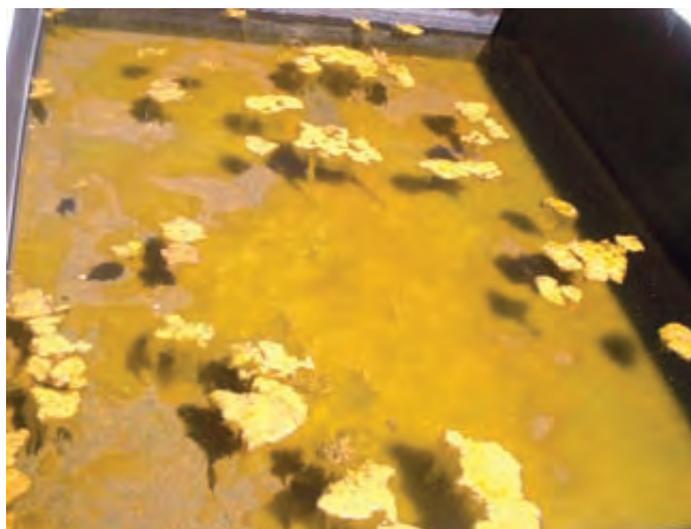


Foto 3.3. Capa biomembrana y material sobrenadante en FLA, Loc. Masaya

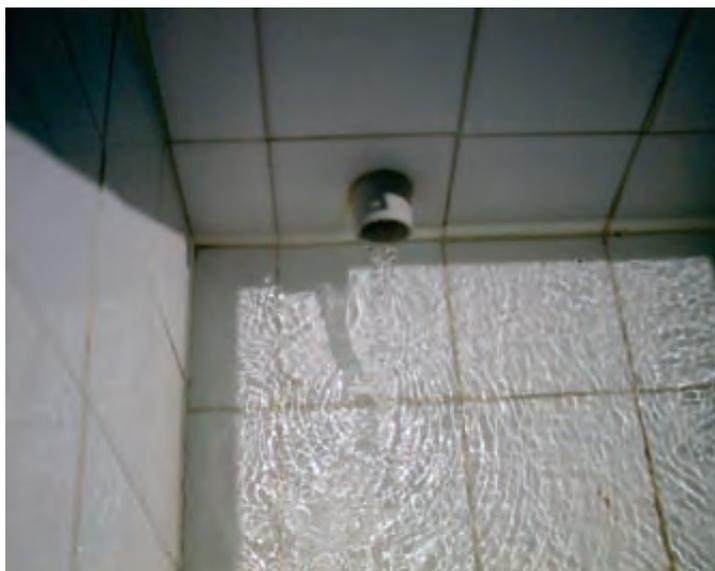


Foto 3.4. Agua filtrada en FLA, Loc. Cachilipe



Foto 3. 5. Filtro grueso dinámico y FLA, Loc. Masaya



Foto 3.6 Cuello de ganso, Loc. Masaya



Foto 3.7. Otros componentes, Localidad de Cachilipe



Filtro Dinámico Loc. Villamontes



Filtro Grueso Ascendente
Loc. Villamontes



Filtro lento de arena Loc. Villamontes



Foto 3.8 Planta de tratamiento FIME Localidad Villamontes, departamento de Tarija

T.4 Filtro casero de arena		Aplicable al Sistema 3	1-4
Nivel de empleo (+++) Rural concentrada (++) Rural dispersa (+) Periurbana	Nivel de administración (+++) Familia (+++) EPSA (+++) EPSA	Entrada producto: <input type="checkbox"/> Agua cruda	
		Salida del producto: <input type="checkbox"/> Agua segura	
Aplicable a zona: (++) Altiplano (++) Valles (++) Llanos			

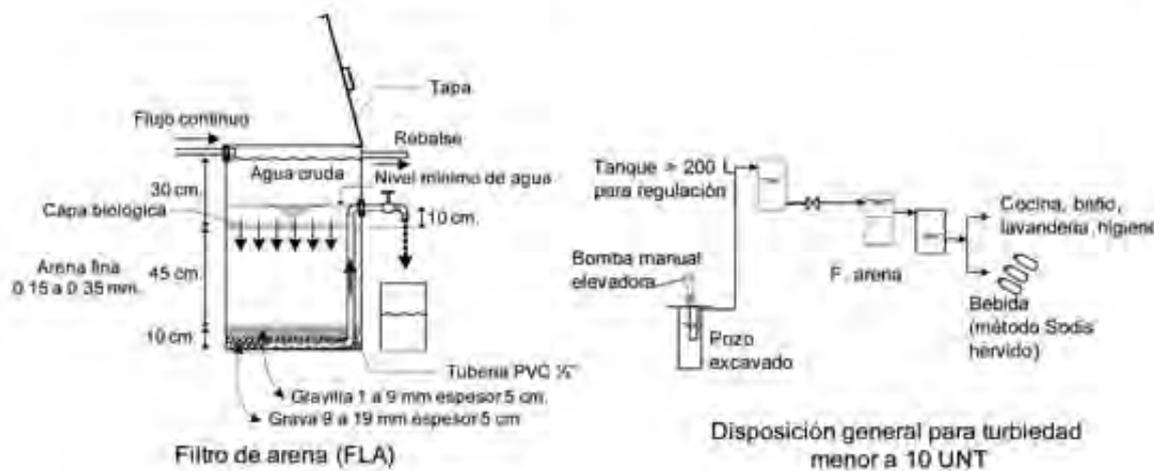


Fig. 1. Filtro Casero de Arena (FLA) Fig. 2 Disposición general para UNT <10

DESCRIPCIÓN

La tecnología casera de filtración de arena es una aplicación del filtro lento (FLA) a nivel domiciliario, por lo que aplica los mismos principios de la filtración en múltiples etapas. FiME, ver Figs. 1 y 2. Funciona adecuadamente con turbiedades menores a 10 UNT. Dependiendo de la calidad del agua, puede requerirse de otras unidades de pretratamiento como filtros de grava de flujo ascendente.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para niveles de turbiedad mayores a 10 UNT, se hace necesaria la aplicación de un pretratamiento. En la Tabla 1 se indica los rangos de calidad de agua y las posibilidades de aplicación de un sistema FiME, ver Fig. 4.

Tabla 1. Selección del sistema de tratamiento de filtro casero

Turbiedad (UNT)	< 10	20 - 50	50 - 70
Disposición		FGAC3	FGAS3

Referencias: FGA: Filtro grueso ascendente; FGAC: Filtro grueso ascendente en capas; FGAS3: Filtro grueso ascendente en serie (3 etapas)

Cuando se tenga la presencia de hierro y manganeso, en concentraciones mayores a 10,0 mg/L, se puede aplicar esta tecnología incorporando filtros gruesos en serie o un solo filtro, como se muestra en la Fig. 4, ver también la Tecnología de remoción de Hierro y Manganeso (concentraciones mayores a 10 mg/L).

A nivel nacional no se cuenta con registros de aplicación de esta tecnología, por lo cual antes de su implementación debe ser validada de acuerdo a las condiciones locales y calidad del agua bruta.

CRITERIOS DE DISEÑO

Se aplican las mismas guías de diseño indicadas en la tecnología de Filtración en Múltiples Etapas (FiME). Para su pleno funcionamiento y eficiencia de tratamiento tanto en los aspectos físicos, químicos y microbiológicos, se debe garantizar el funcionamiento continuo de todo el sistema mediante la instalación de un tanque de almacenamiento de agua bruta o de regulación que permita el desarrollo y mantenimiento de la película biológica del FLA (en la capa superior del filtro de arena).

Cálculo del filtro casero de arena

Cálculo del caudal filtrado en operación continua (para un recipiente de volumen determinado):

$$Q = A_s * V_f$$

Donde:

Q = Caudal filtrado (m³/h)

A_s = Área horizontal del depósito (m²)

V_f = Velocidad de filtración (m/h)

En la Tabla 2, se indica la producción de agua segura en un FLA para diferentes tasas de filtración y regiones del país.

Tabla 2. Producción del filtro de arena (L/día)

Zona geográfica	Velocidad de filtración (m/h)	Diámetro del filtro (m)				
		0,15	0,2	0,3	0,4	0,6
Altiplano	0,10	42	75	160	300	670
Valle	0,12	51	90	200	360	800
Llano, Chaco	0,15	64	113	250	450	1 000

En la Fig. 3 se muestra un filtro casero con la aplicación de tubería comercial de PVC, 6";8";10", con tapa de plástico.

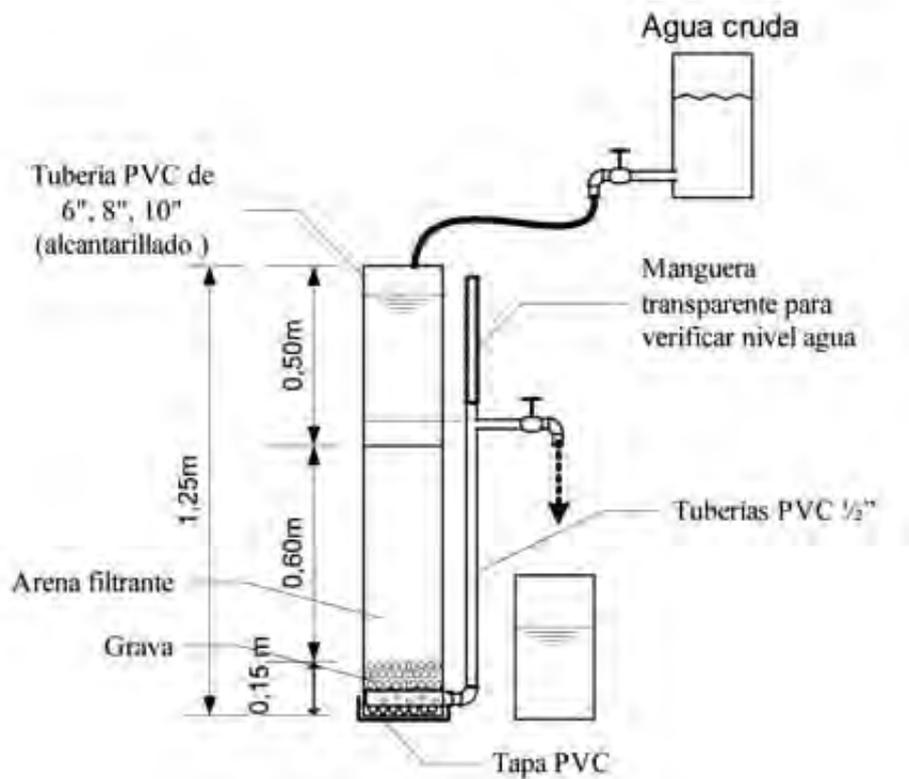


Fig. 3 Filtro casero de arena con tubería de PVC

Cálculo del Filtro Grueso de Arena (FGA)

El cálculo es similar al del FLA, empleando una velocidad de filtración de 0,30 m/h.

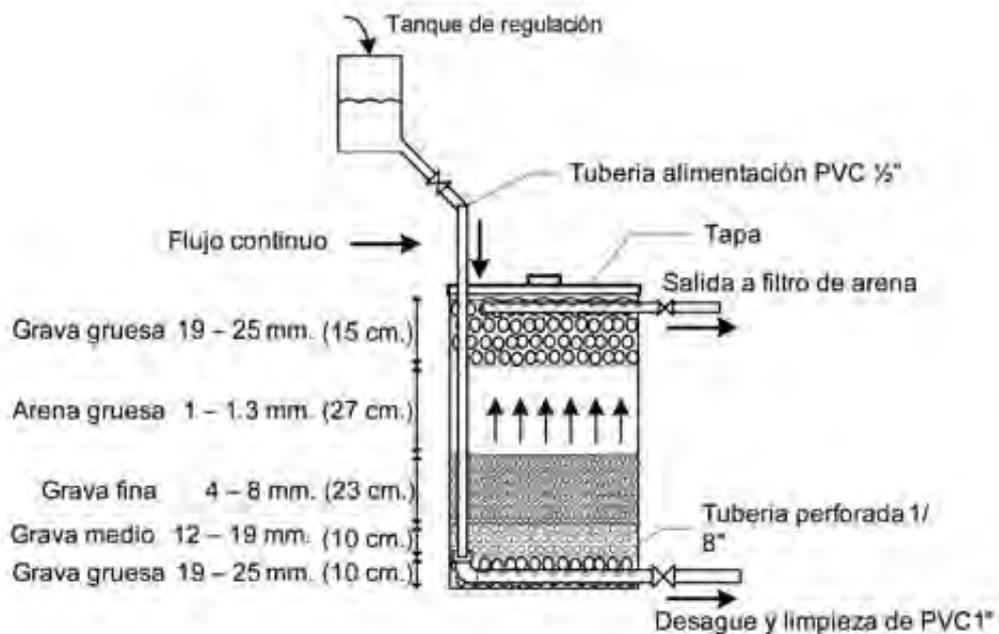


Fig. 4 Filtro Grueso Ascendente en capas

En la Tabla 3, se indican las superficies de filtro requeridos para determinada producción de agua segura.

Tabla 3. Producción de agua con FGA (L/día)

Zona geográfica	Velocidad de filtración (m/h)	Diámetro filtro (m)				
		0,15	0,2	0,3	0,4	0,6
Altiplano, Valle, Llano, Chaco	0,30	127	220	500	900	2000

En la Fig.5, se muestra la disposición general cuando la turbiedad es mayor a 10 UNT.

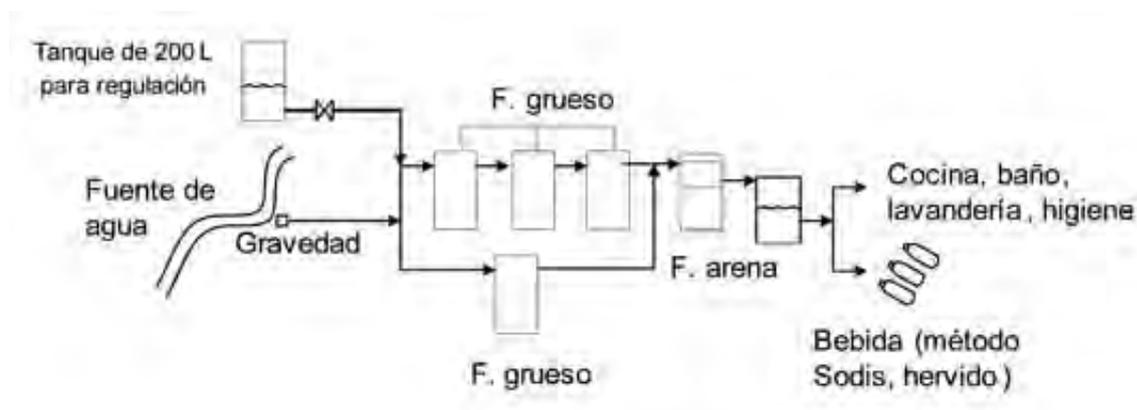


Fig. 5 Disposición general para turbiedades mayores a 10 UNT

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS:

El filtro (FLA) está compuesto por un recipiente cilíndrico o cuadrado, hecho de materiales que no contaminen el agua y que permitan su almacenamiento hermético; asbesto cemento, plástico, hormigón, mampostería de ladrillo, etc. Las dimensiones pueden variar de 0,15 – 0,60 m de diámetro o lado y una altura de 1,00 – 1,20 m; el material filtrante se compone de una capa soporte de 0,10 m, y sobre ella se asienta el lecho filtrante de arena fina de 0,50 – 0,70 m. Las especificaciones del tamaño de los granos son las siguientes:

- Primera capa de grava de 9 a 19 mm con un espesor de 5 cm.
- Segunda capa de grava fina de 1 a 9 mm, también con un espesor de 5 cm.
- Lecho de arena fina de 0,15 - 0,35 mm, con un coeficiente de uniformidad menor a 4.

La tubería de drenaje de agua filtrada consiste en una tubería perforada de PVC de ½", conectada a un grifo de ½", el mismo que servirá también como regulador de caudal, ver Fig. 1.

Para amortiguar la caída libre del agua en el lecho de arena fina del FLA y evitar el daño a la capa biológica, se coloca una piedra plana de 10 x 10 cm; asimismo, es importante mantener un tirante de agua mínimo mayor a los 10 cm, por encima del lecho de arena, a fin de no afectar la estabilidad de la capa biológica. Para este fin,

el nivel del grifo deberá estar ubicado entre los 7 - 10 cm por encima del nivel de la arena, ver Fig. 1.

El filtro (FGA) esta compuesto por un recipiente circular o cuadrado similar al del FLA, con capas de grava y arena, ver Fig. 3, de acuerdo a lo especificado en los sistemas FiME.

Las Tablas 4 y 5, presentan un detalle de los costos directos (en bolivianos) de filtros caseros a nivel domiciliario.

Tabla 4. Costos Directos Referenciales (Bs). Filtros caseros (FLA)

Diámetro	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,6
Costo	266	314	353	373	420	503

Tabla 5. Costos Directos Referenciales (Bs). Filtros (FGA)

Diámetro	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,6
Costo	300	354	400	413	460	560

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La turbiedad del agua cruda deberá estar preferiblemente en un rango menor a 10 UNT, en caso de persistir agua con una turbiedad mayor de 10 UNT, es recomendable la prefiltración antes del ingreso al filtro lento. Se puede emplear un filtro grueso de grava de flujo ascendente, con una velocidad de filtración de 0,30 m/h. Este filtro contribuye principalmente a la separación de sólidos suspendidos, color, así como de hierro y manganeso (para pequeñas concentraciones menores a 1,0 mg/L), evitando así la colmatación prematura del lecho de arena del FLA. Para iniciar el funcionamiento del filtro lento, se deberá llenar con agua limpia la caja del filtro siguiendo un sentido ascendente (en contra flujo), para ir saturando lentamente el lecho filtrante hasta llegar al nivel de filtración (0,15 – 0,20 m por encima del lecho filtrante) y evitar de este modo el desacomodo de la superficie de arena.

Para la operación y actividades rutinarias, se requiere de un tanque de almacenamiento de agua cruda (al menos en un volumen igual al del consumo diario, dependiendo de los usos que quieran ser tomados en cuenta: aseo, bebida, cocina, etc.) y de recipientes limpios para recibir el agua filtrada.

El mantenimiento del FLA se realiza al observar que la velocidad de filtración ha disminuido, cuando el llenado del recipiente de agua filtrada toma un tiempo mayor a dos veces de lo normal, siendo el momento de remover una capa de 1 a 2 cm de arena. El material removido deberá ser repuesto inmediatamente, una vez lavada, o colocar otra arena limpia (nueva). La Tabla 6, muestra las actividades principales de operación mantenimiento que se deben realizar para la correcta operación de un filtro casero, ver tecnología FiME.

Tabla 6. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Filtro de arena	
Inicio del llenado de agua del filtro lento	Llenar lentamente con agua el filtro y en forma ascendente (contraflujo). Abastecer el filtro hasta que el agua aparezca sobre la superficie de arena, llenado de abajo para arriba.
Acondicionamiento	Nivelar la superficie del lecho de arena. Abrir la válvula de vaciado para descender el nivel de agua 0,1 m debajo de la superficie de arena.
Poner en marcha el filtro	Realizar nuevamente el llenado ascendente hasta que el nivel del agua alcance 0,2 m sobre la superficie de arena. Abrir la válvula de entrada de regulación del filtro y mantener la compuerta a una velocidad de filtración lenta, de 0,02 m/h. Abrir la válvula de desagüe de la cámara de agua filtrada. Aumentar la velocidad de filtración 0,02 m/h cada semana, hasta alcanzar la velocidad de diseño (generalmente 0,10 ó 0,15 m/h). El aumento de la velocidad de filtración esta sujeta a la calidad del efluente (menor a 5 UNT).
Material flotante	Retirar el material desprendido del lecho filtrante con un cernidor o red.
Control de calidad del agua	Durante el período de maduración del filtro, medir a diario si el agua filtrada reúne los criterios de calidad requeridos para consumo humano.
Agua filtrada para consumo	Cuando la calidad el agua filtrada sea aceptable, cerrar la válvula de drenaje del agua filtrada y abrir la válvula para consumo.
Filtro grueso ascendente	
Medición y control del caudal afluente.	Verificar el nivel de agua en el filtro. Ajustar la válvula de entrada hasta alcanzar el caudal de operación.
Medición de turbiedad	Cerrar válvula cuando la turbiedad del agua afluente sea mayor que el valor previsto para operación normal.
Retiro de material flotante.	Retirar material desprendido del lecho filtrante con una red pequeña o cernidor.
Limpieza de fondo.	Mediante la llave de drenaje, realizar la apertura para el desalojo de los lodos de fondo, este trabajo debe hacerlo cuando se observe que la calidad de agua disminuye.
Medición de pérdida de carga.	Lavar el filtro cuando la pérdida de carga sea mayor que el valor esperado al finalizar la carrera de filtración.
Remover el material flotante.	Retirar material desprendido del lecho filtrante con una red pequeña o cernidor.
Medir la velocidad de filtración.	Verificar el caudal de ingreso al filtro.
Regulación de la velocidad de Filtración.	Manipular la válvula de entrada para mantener la velocidad de filtración constante.
Limpieza del lecho filtrante.	Cuando la altura del agua alcance el nivel de la tubería de rebose, se debe suspender el funcionamiento del filtro e iniciar su limpieza.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Simplicidad de construcción con materiales locales.</p> <p>La operación y mantenimiento son simples, una familia con poca capacitación puede operarlo.</p> <p>No requiere de reactivos químicos para el tratamiento del agua, dependiendo de la calidad del agua.</p> <p>Solo requiere equipo simple para su mantenimiento.</p> <p>Para el lavado puede usar el agua ya filtrada.</p> <p>Se puede reponer el mismo material de arena una vez lavado.</p> <p>Es aplicable en zonas rurales y periurbanas.</p>	<p>La turbiedad elevada a los niveles esperados, puede perjudicar el normal funcionamiento.</p> <p>Limitaciones para el tratamiento de aguas con partículas coloidales (que requieren periodos de sedimentación prolongados)</p> <p>La arena fina para el filtro lento no siempre es disponible en la localidad.</p> <p>El descuido o funcionamiento discontinuo puede dañar la capa biológica.</p>

Referencias:

CINARA, *FILTRACION EN MULTIPLES ETAPAS ,Tecnología innovativa para el tratamiento de agua 1999*

CINARA, OPS, *Filtración lenta en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades J.T. Visscher, R. Paramasivan, A. Raman, H.A. Heijnen 1992.*

CINARA, PLADEICOP, MINISTERIO DE SALUD, UNICEF, IRC, OMS : *Que Agua Beberemos.*

MINISTERIO DE VIVIENDA Y SERVICIOS BASICOS, *Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable para Poblaciones menores a 5.000 Habitantes Bolivia, 1 999.*

OPS/CEPIS/ UNATSABAR; *Guía para Diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas, 2005*

OPS – CEPIS – OMS, *Tecnologías para Abastecimiento de agua en Poblaciones Dispersas.*

MINISTERIO DE SALUD REPUBLICA DE NICARAGUA, *Proyecto Agua y Salud*

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS

Anexo1



Foto 1.1. Filtro casero de arena.

T.3 Remoción de Hierro y Manganeso		Aplicable a: Sistema 2
Nivel de empleo	Nivel de administración	Entrada producto: <input type="checkbox"/> Agua cruda
<input checked="" type="checkbox"/> Rural concentrada	<input checked="" type="checkbox"/> EPSA	Salida del producto: <input type="checkbox"/> Agua segura
<input type="checkbox"/> Rural dispersa	<input type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Periurbana	<input checked="" type="checkbox"/> EPSA	
Aplicable a zona:	<input checked="" type="checkbox"/> Allipato	<input checked="" type="checkbox"/> Varles <input checked="" type="checkbox"/> Llanos

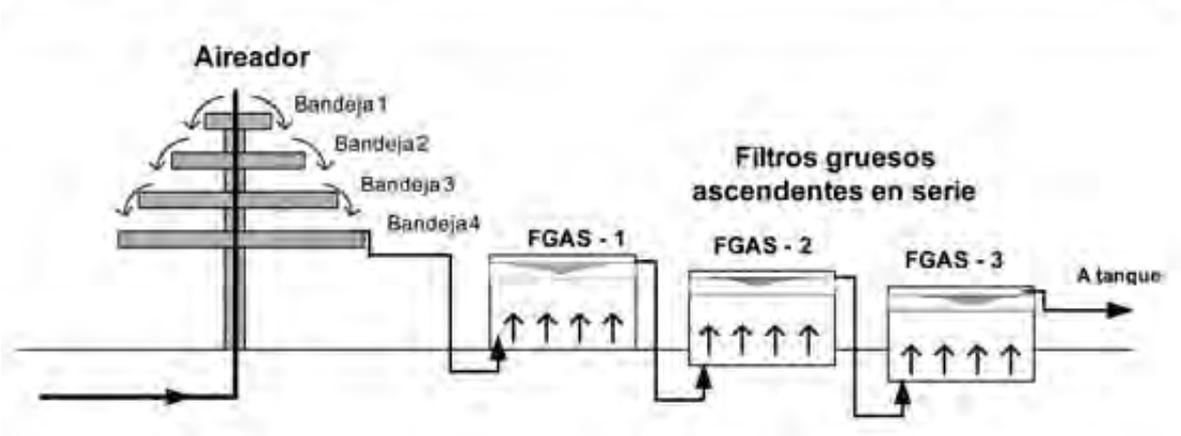


Fig.1. Planta de tratamiento para remoción de hierro y manganeso

CARACTERÍSTICAS

Esta tecnología de remoción de hierro y manganeso emplea la aireación y filtración gruesa, aireadores de bandeja y filtros gruesos de grava ascendentes en serie, como un proceso natural físico, químico y biológico que no requiere de reactivos químicos para su aplicación. Se aplica en el tratamiento de las aguas subterráneas alcanzando eficiencias de remoción de 90 - 95 %. Sencilla en su implementación así como en su operación y mantenimiento, es aplicable en poblaciones pequeñas y medianas, Fig.1.

El hierro y manganeso, presentes en las aguas subterráneas, son oxidados y precipitados con la ayuda de las bacterias aerobias llamadas ferrobacterias, las cuales están presentes en el medio ambiente en forma natural (suelos, pozos de agua, tuberías de aguas crudas, etc.). El proceso de remoción de hierro y manganeso se realiza en forma simultánea, donde el hierro se precipita por una combinación de procesos fisicoquímicos y biológicos, mientras que para la remoción de manganeso predominan los procesos biológicos.

Los tres grupos principales de bacterias que actúan en la remoción del hierro son:

- Las bacterias pedunculadas, como las especies *Gallionella sp.* y *Thiobacillus ferrooxidans*, son autótrofas obligadas.
- Las bacterias filamentosas, que pueden ser autótrofas facultativas, como *Leptothrixochracea*, *Leptothrix discophora* y *Crenotrix polyspora*. Estas bacterias pueden actuar como heterótrofas. Son fáciles de reconocer por observación microscópica.
- Las bacterias en forma de conchas, bacilos, vibriones, más difíciles de reconocer por observación microscópica. Estas especies son heterótrofas obligadas, y entre ellas se encuentran *Siderocapsaceae* y *Sphaerotilus natans*.

Su principal característica del metabolismo bacteriano es su naturaleza catálica, por la cual se puede lograr una oxidación rápida del hierro y el manganeso, y su precipitación posterior.

La línea de tratamiento puede estar formada por las siguientes operaciones unitarias básicas, i) aireación de bandejas de rebose lateral, de sección cuadrada, rectangular o circular, y ii) filtros gruesos ascendentes por capas (FGAC) o en serie (FGAS), de dos o tres filtros, dependiendo del contenido de hierro y manganeso en el agua cruda. La aplicación de los filtros gruesos es similar al sistema FIME, con la adición de la aireación de bandejas, donde se acumula el lodo decantado de Fe y Mn. La aireación tiene por objetivo facilitar el contacto del agua con el oxígeno del aire (incrementando el contenido de oxígeno disuelto) para precipitar los iones de hierro y manganeso con ayuda de las bacterias. La aireación también sirve para la liberación de otros gases que se pueden encontrar en solución en las agua subterráneas (hidrógeno sulfurado, gas metano, dióxido de carbón, etc.)

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Puede aplicarse en el tratamiento de aguas subterráneas, pozos de agua, vertientes de ladera, galerías filtrantes, con concentraciones de hierro y manganeso menores a 10 mg/L y caudales no superiores a 10 L/s. Fuera de estos límites, se recomienda construir una planta piloto para realizar un estudio de tratabilidad. La tecnología es aplicable en todas las regiones, Altiplano Valles y Llanos.

CRITERIOS DE DISEÑO

Aireador de bandeja:

Las bacterias involucradas en la remoción biológica tienen la propiedad de causar la oxidación del hierro y manganeso bajo determinadas condiciones de potencial pH. El rango óptimo para la remoción el hierro está entre un pH de 6,5 - 7,2 y de manganeso entre 7,5 - 8,5. La concentración de oxígeno disuelto puede ser baja, ya que la bacterias involucradas son microaerófilas (crecen en presencia de pequeñas cantidades de oxígeno disuelto). Para el manganeso, las concentraciones de oxígeno disuelto deben ser mayores a 5 mg/L. El contenido de oxígeno soluble a distintas temperaturas es variable, con 14,6 mg/L a 0° C, y 7,7 mg/L para 30 °C, (para una presión atmosférica de 760 mm Hg). Todo el proceso permite elevar el pH y facilitar la remoción de hierro y/o manganeso, ver Fig. 2.

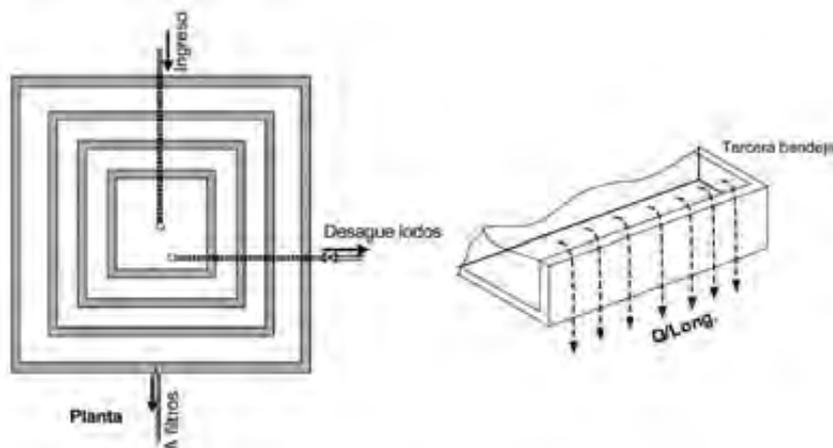


Fig. 2 Distribución de caudales en el vertedero

Un aireador comprende 3 o 4 plataformas o bandejas superpuestas de dimensiones crecientes en el sentido del flujo, separadas entre si 0,25 - 0,50 m, pueden ser circulares, rectangulares o cuadradas. El flujo de agua es en forma de caída, tipo goteo rápido o semi laminar, donde el caudal es distribuido en una la longitud (F). El valor de cálculo recomendado varia de 0,18 - 0,22 L/(s x m), valor obtenido para la bandeja No 3, las otras bandejas reciben el mismo caudal con un flujo más laminar. La distribución uniforme del agua y el mayor contacto superficial con el aire, permiten una mejor formación de los flocs de hierro y manganeso, sedimentando los mismos en la parte inferior de la bandeja, cuyo tirante de agua es de 0,15 cm. En la Tabla 1, se tienen algunas dimensiones de bandeja calculadas para diferentes caudales. La Tabla ha sido construida empleando un valor de F igual a 0,18 L/s/m para caudales menores de 1,5 L/s, para mayores caudales se adopta un valor de 0,22 L/s/m.

Tabla 1. Dimensionamiento de la bandeja No. 3 de sección cuadrada

Caudal (L/s)	Bandeja No. 3		
	Long total (m)	Longitud de cada lado (m)	Área (m ²)
0,5	2,8	0,70	0,49
1,0	5,6	1,40	1,96
1,5	8,3	2,10	4,41
2,0	9,1	2,30	5,29
2,5	11,4	2,80	7,84
3,0	13,6	3,40	11,56
3,5	15,9	4,00	16,00
4,0	18,2	4,50	20,25
5,0	22,7	5,70	32,49

Filtros gruesos de flujo ascendente (FGAS):

La filtración gruesa ascendente en serie (FGAS), es similar en su funcionamiento a los filtros FIME, tiene la ventaja de favorecer la acumulación de sólidos en el fondo del filtro, donde esta localizado el sistema de drenaje, facilitando de este modo el lavado y remoción del material sedimentado. La Tabla 2, presenta los valores de eficiencia del FGA de acuerdo a diferentes velocidades de filtración.

Tabla 2. Eficiencias remoción FGA

Parámetro	Reducción típica
Hierro Manganeso	Alrededor del 70 %, para velocidad de filtración de 1,5 a 2 m/h. 80 a 85 %, para velocidad de filtración de 1,5 a 2 m/h.

Para la remoción de Fe y Mn, la experiencia en el país recomienda valores de filtración de 1,5 - 2 m/h, a mayor velocidad la operación de limpieza deberá realizarse con mayor frecuencia (menor carrera del filtro).

Filtros gruesos de flujo descendente (FGD):

Si el último filtro está expuesto a la intemperie o exista el peligro de contaminación de materiales flotantes, puede emplearse un filtro grueso de flujo descendente con una velocidad de filtración de 1,5 a 2,0 m/h, la granulometría es similar al de un filtro grueso en capas, ver Fig. 2, colocando el material filtrante, de menor a mayor diámetro, en el sentido del flujo.

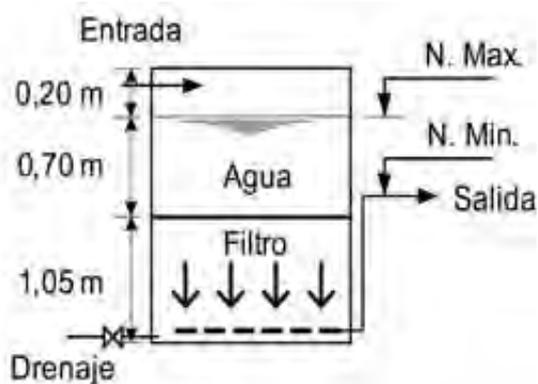


Fig. 2 Filtro grueso de flujo descendente

Elección de alternativas

La Fig. 3, presenta diferentes alternativas que pueden adoptarse en función al contenido de hierro y manganeso del afluente. La Tabla 3, muestra una guía de selección tomando en cuenta diferentes concentraciones de estos metales en el agua (mg/L).

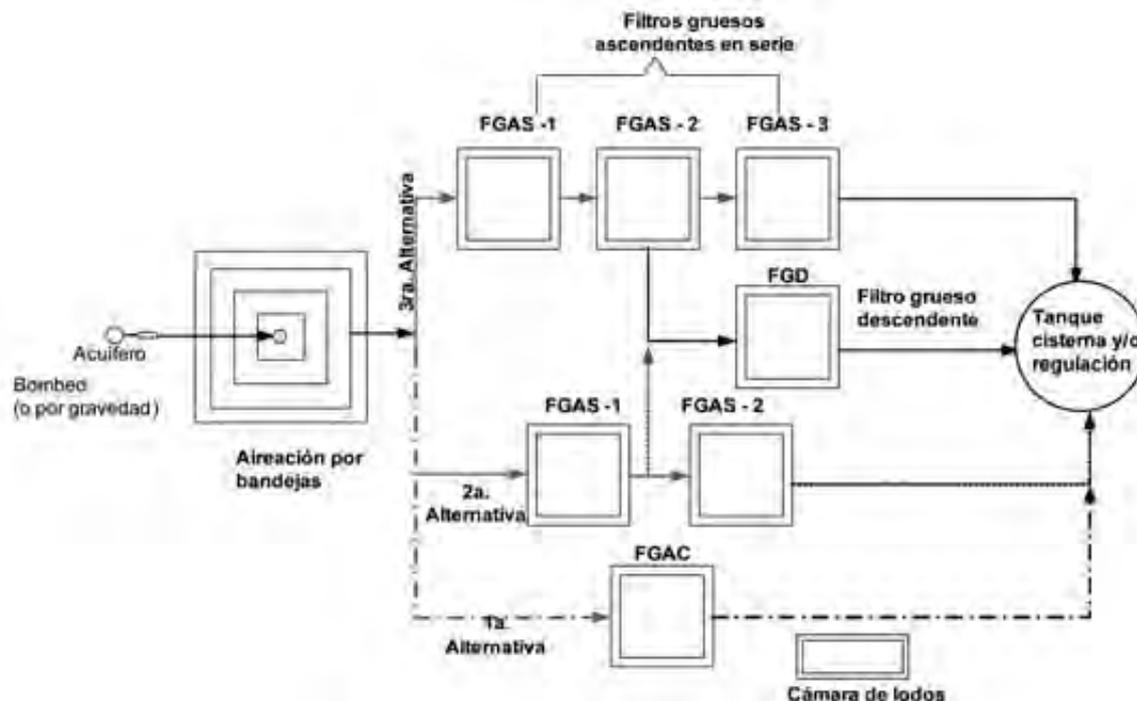


Fig. 3 Línea de alternativas de solución

Tabla 3. Elección de alternativas

Alternativas	Primera Alternativa 1 filtros en capas	Segunda alternativa 2 filtros en serie	Tercera alternativa 3 filtros
Contenido de Hierro y Manganeso (mg/L)	0,3 a 0,7	0,8 a 3	3,1 a 10

Para el dimensionamiento del filtro grueso ascendente, se considera la formula $A_s = Q_f / V_f$

Donde:

Q_f = Caudal de diseño, igual a la capacidad del FGA (m³/h)

V_f = Velocidad de filtración (m/h)

A_s = Área superficial (m²)

Tabla 4. Cálculo del área del filtro para distintos caudales

Caudal (L/s)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
Área para un filtro (m ²)	1,10	2,10	3,20	4,20	5,30	6,40	7,40	8,50	10,60

Velocidad de filtración adoptada 1,7 m/h

La altura del medio filtrante no supera los 1,05 m, ver Fig. 4, a esta altura debe adicionarse 0,20 m de agua sobrenadante y un borde libre de 0,10 m.

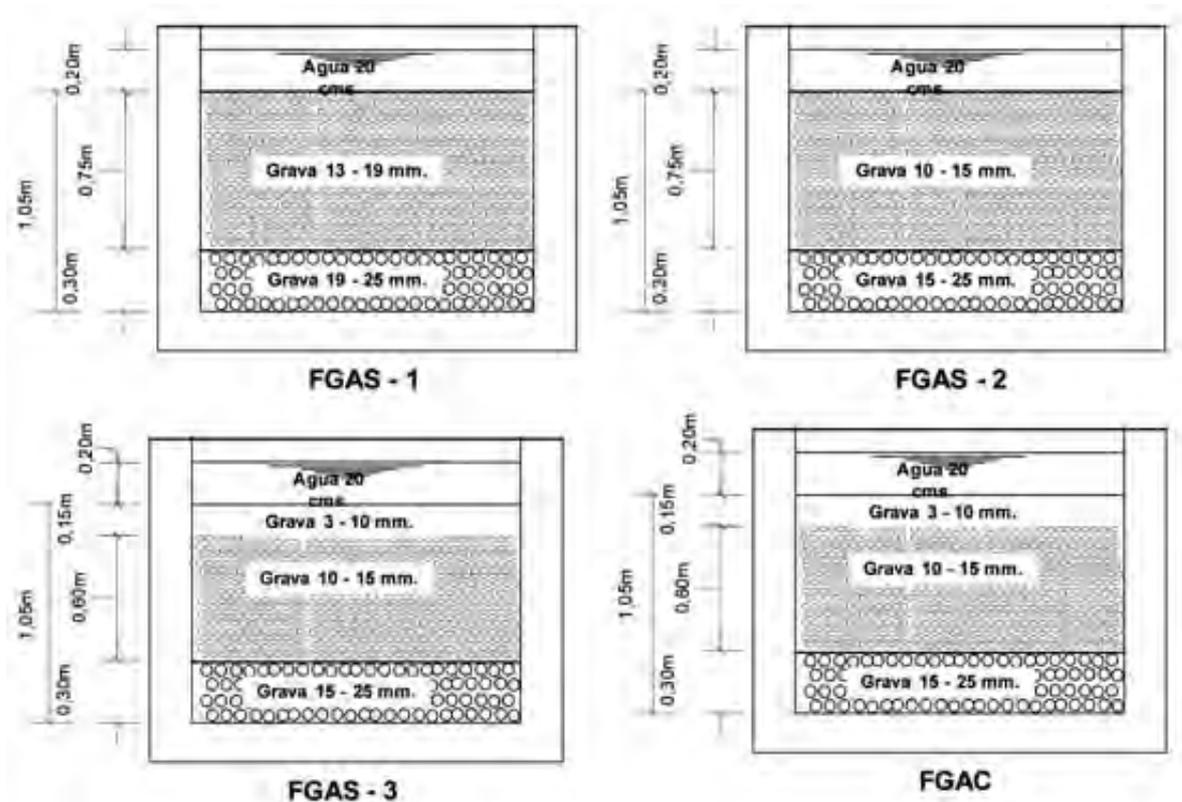


Fig. 4 Granulometría del medio filtrante

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Aireador:

El aireador puede ser construido de hormigón armado, de losa delgada, con pendiente para la recolección del lodo acumulado (flocs de hierro y/o manganeso), el mismo que es drenado mediante una tubería accionada por una llave de paso. El diámetro de esta tubería deberá ser mayor a 2", ver Fig. 5.

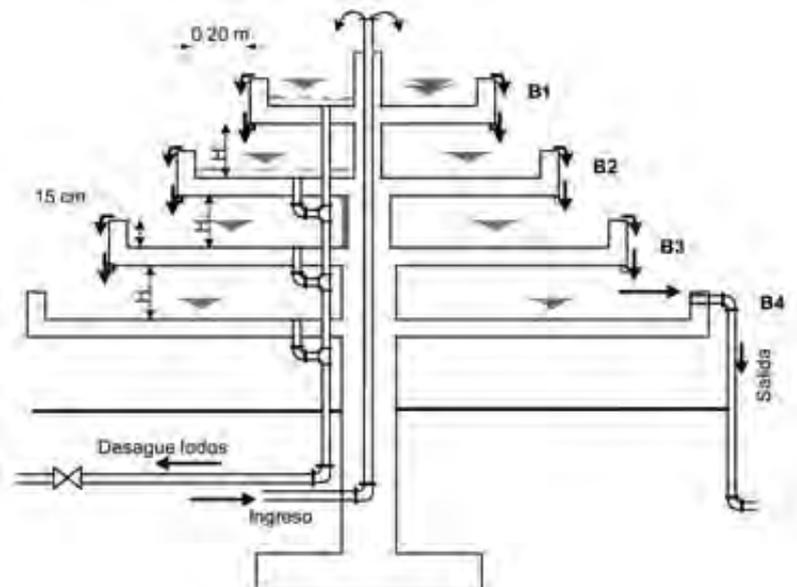


Fig. 5 Detalle del aireador de bandejas

Filtro grueso ascendente:

El filtro grueso ascendente puede ser de hormigón armado, ferrocemento, mampostería de piedra y/o ladrillo, el material filtrante deberá ser de canto rodado resistente a la solubilidad. Su construcción y accesorios deben responder a los indicados en la tecnología FiME, ver Fig.6.

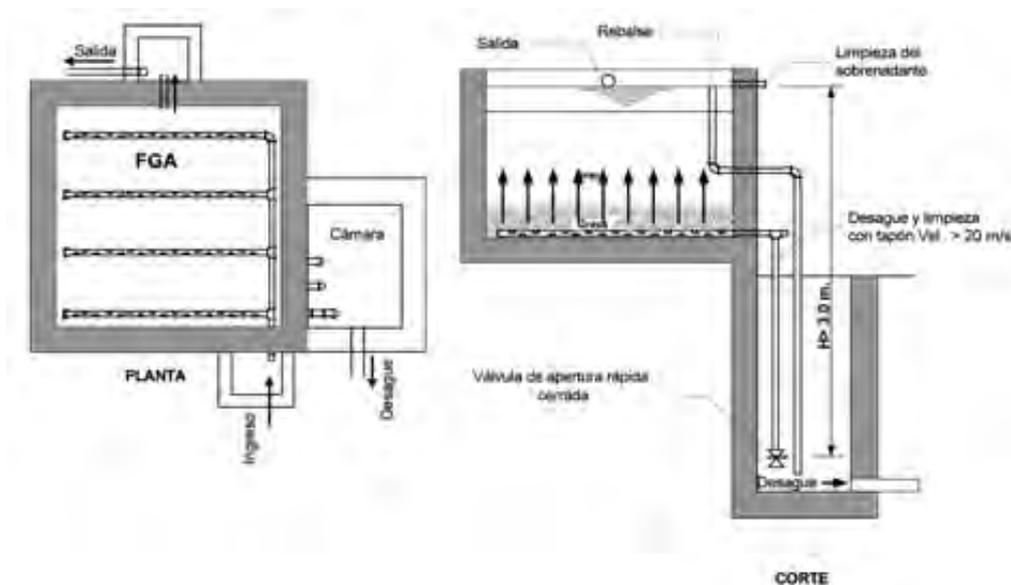


Fig. 6 Vista en planta y perfil de un filtro grueso ascendente

En zonas planas que requieren bombeo, toda la estructura estará elevada, las dimensiones dependerán del caudal de bombeo. El aireador se podrá acomodar a la forma geométrica más cómoda, ver Fig. 7.

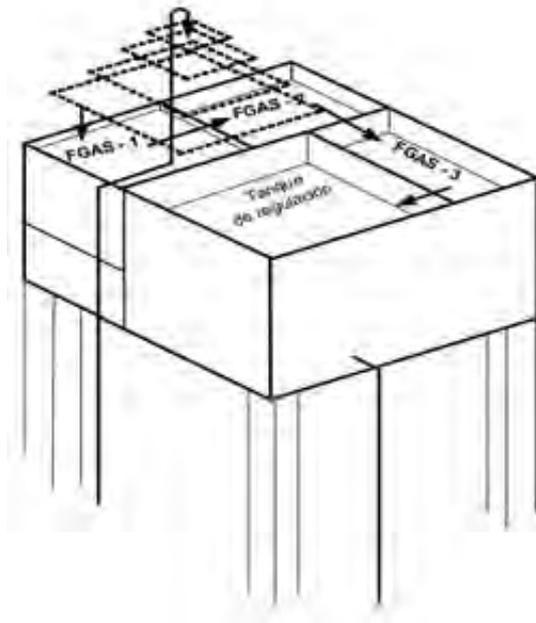


Fig. 7. Solución en una estructura compacta, sistema por bombeo de remoción de hierro y manganeso

Los costos se determinan tomando en cuenta el caudal y el número de filtros empleados. En la Tabla 5 se muestran los costos referenciales.

Tabla 5. Costos referenciales en bolivianos para un caudal de 1,0 (L/s)

Aireador	Filtro Grueso Ascendente (FGAS)	Cámara de sedimentación
9 000	8 500	2 500

El costo del FGAS corresponde a una sola unidad de tratamiento, para filtros en serie se deberán incrementar los costos de acuerdo al número de filtros empleados.

Para la recolección de lodos se deberá prever un sedimentador o lecho de secado y un área para su disposición final (enterramiento, reuso).

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para el arranque de la planta se requiere de un periodo de maduración mínimo de 15 días, especialmente en los filtros, donde las bacterias deben colonizar completamente los mantos y alcanzar la máxima eficiencia de remoción. El tiempo que transcurre entre dos lavados consecutivos es variable, la limpieza consiste en la rapidéz de la apertura de la válvula (FiME). Las variaciones de caudal y concentración de los metales no afectan el proceso de remoción. Luego de una parada de la planta, la eficiencia de remoción se restablece casi inmediatamente. En el aireador, la tarea más importante y de operación permanente, es el drenaje de los lodos acumulados en las bandejas. La Tabla 6, muestra las actividades principales de operación y mantenimiento de las diferentes unidades que componen el sistema de tratamiento de hierro y manganeso.

Tabla 6. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Aireador: Control del caudal de ingreso	Revisar el caudal afluente al aireador. Ajustar válvula de entrada, según se requiera.
Medición de calidad de agua	Medir el contenido de hierro y manganeso del agua cruda al ingreso del aireador, esta tarea puede hacerse cada mes. Medir el pH.
Registro de Información	En el libro de registro diario, anotar los valores encontrados de los parámetros de control: caudal, calidad del agua, la fecha de purga de lodos y otras observaciones que se consideren importantes.
Retiro de lodos	Verificar la existencia de lodos sedimentados en las bandejas, abrir la llave o válvula de purga instalado para este fin. Realizar la limpieza de las bandejas.
Filtro Grueso Ascendente: Medición y control de caudal	Verificar el nivel de agua en la reglilla de aforo de cada unidad. Ajustar la válvula de entrada hasta alcanzar el caudal de operación.
Medición de turbiedad	Cerrar válvula cuando el contenido de hierro y manganeso del agua afluente sea mayor que el valor previsto para operación normal.
Retiro de material flotante	Retirar material desprendido del lecho filtrante con una red pequeña.
Registro de información en FGA	Anotar en el libro de registro diario los valores de hierro y manganeso, al ingreso y la salida del filtro. Registrar los cambios de caudal durante el día, fecha de lavado del filtro.
Medición de pérdida de carga	Medir nivel de agua en la cámara de entrada al filtro. Lavar el filtro cuando la pérdida de carga sea mayor que el valor esperado al finalizar la carrera de filtración.
Retiro de lodos	Para el lavado del filtro, abrir la llave o válvula de apertura rápida, realizando unas 3 maniobras de giro rápido, hasta lograr mover el lodo acumulado en el fondo del filtro. Esta actividad puede realizarse cada 20 a 30 días. El lodo desalojado deberá ir a un sedimentador/lecho de secado para su deshidratación y disposición final.
Filtro Grueso Descendente: Limpieza de material filtrante	En forma similar al filtro lento de arena (FLA), deberá retirarse la grava colmatada con flocs, por capas de 1 a 2 cm, hasta un mínimo de altura de 50 cm, para cambiar luego por otro material limpio. La frecuencia de raspaje dependerá de la saturación de la capa superior con material sedimentado y la carrera de filtración.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Simplicidad de construcción con materiales locales.</p> <p>No requiere de reactivos químicos para el tratamiento del agua.</p> <p>La operación y mantenimiento es sencilla, no requiere de personal calificado.</p> <p>Solo requiere equipo simple para su mantenimiento.</p> <p>Costos relativamente reducidos.</p> <p>Para el lavado del FGA, solo requiere la maniobra de la llave de apertura rápida.</p> <p>Es aplicable en zonas rurales concentradas y periurbanas.</p>	<p>Mayor contenido de Fe y Mn, superior a los niveles esperados, puede perjudicar el normal funcionamiento.</p> <p>La tecnología se aplica sólo para el tratamiento de aguas subterráneas.</p> <p>Para el funcionamiento requiere de una diferencia de altura que garantice el gradiente hidráulico necesario, o bien construir el aireador y filtros al nivel de tanque elevado (compacto).</p> <p>Es factible para caudales menores a 10,0 L/s.</p>

Referencias:

Proceso BioCIS-UNR, *Remoción Biológica de Hierro y Manganeseo, Proceso desarrollado en el Centro de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina, año 2003.*

Ref. Virginia a. Pacini, Ana María Ingallinella y Graciela Sanguinetti, *Centro de Ingeniería Sanitaria Santa Fe, Argentina*

Instituto Cinara – Universidad del Valle, *Lineamientos para el diseño y Administración de Sistemas de Abastecimiento de Agua, 2007*

Jose M. Huanca F. – Experiencia de remoción de hierro y manganeso en la Tahari, municipio de Achacachi.
jose_mariahf@yahoo.es

ANEXOS

Anexo 1



Foto 1.1 Aireador y Filtros localidad de Tahari
Municipio de Achacahi



Foto 1. 2 Filtro de grava de flujo ascendente



Foto 1. 2. Agua cruda y agua tratada

G.1 Desinfección mediante Hipoclorador de Goteo		Aplicable a: Sistema 1-2	G.1
Nivel de empleo	Nivel de administración	Entrada producto: <input type="checkbox"/> Agua clara	
<input checked="" type="checkbox"/> Rural concentrada	<input checked="" type="checkbox"/> EPSA	Salida del producto: <input type="checkbox"/> Solución madre	
<input type="checkbox"/> Rural dispersa	<input type="checkbox"/> EPSA		
<input checked="" type="checkbox"/> Periurbana	<input checked="" type="checkbox"/> EPSA		
Aplicable a zona:		<input checked="" type="checkbox"/> Altiplano	<input checked="" type="checkbox"/> Valles <input checked="" type="checkbox"/> Llanos

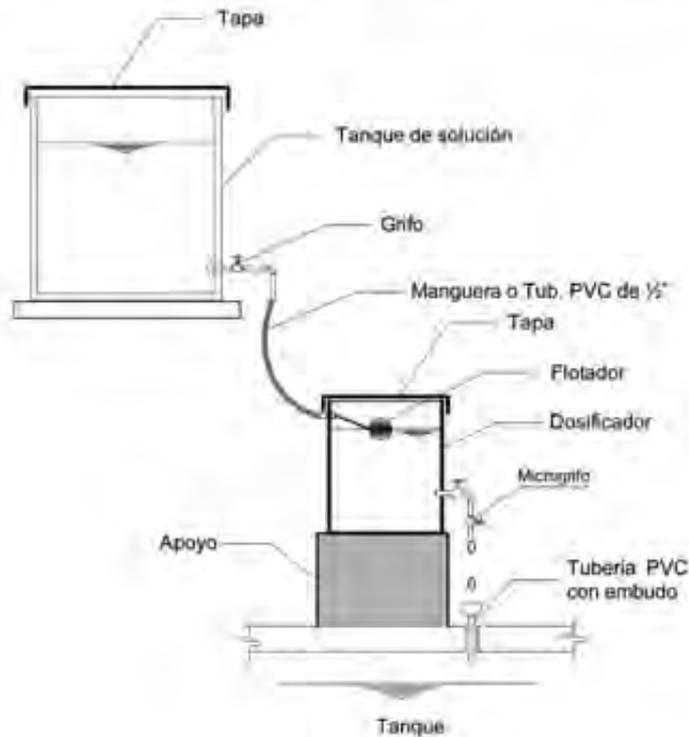


Fig. 1. Hipoclorador de goteo de carga constante

DESCRIPCIÓN

El hipoclorador de goteo, es un equipo sencillo para la desinfección del agua, aplicado en sistemas de agua por gravedad, es utilizado mayormente en forma de hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{OCL})_2$, (HTH)*. El uso de cloro como agente más efectivo y económicamente factible permite mejorar la calidad microbiológica del agua para consumo humano anulando la contaminación por microorganismos patógenos. De acuerdo a los parámetros exigidos por la Norma Boliviana NB 512, el agua potable deberá contener un cloro residual mínimo de 0,20 mg/L en la red de distribución.

La aplicación de un compuesto químico como desinfectante es de uso corriente en el mercado local, se encuentra en forma granular, polvo o pastillas, bajo la denominación de hipoclorito de calcio (HTH).

El hipoclorador es de carga constante. Se tiene dos modelos sencillos, el primero con dos recipientes. En uno de ellos (superior), se tiene la solución madre y en un segundo recipiente pequeño el dosificador, que cuenta con una salida por goteo de la solución de cloro. El dosificador mantiene una carga constante mediante un flotador como se observa en la Fig. 1.

El segundo modelo consiste en un solo recipiente que funciona a la vez como tanque de preparación y como dosificador. Tiene en un tubo flotante con orificios de entrada para el ingreso de la solución, ver Fig. 2,

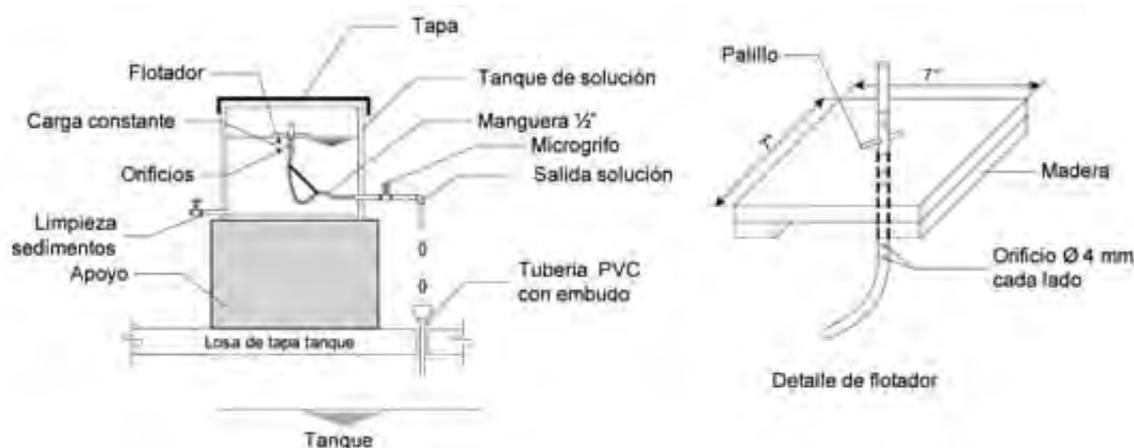


Fig. 2. Dosificador de goteo de carga constante con tubo flotante

CRITERIOS DE SELECCIÓN:

Esta tecnología es adecuada para sistema de agua por gravedad, para caudales de 0,3 L/s - 8,0 L/s, donde el flujo de agua es continuo. Es indispensable la verificación de la existencia de hipoclorito de calcio (HTH) en mercado local más cercano, el manejo y preparación deberá ser realizada por personal capacitado y dependiente de una EPSA, organización comunal u otra que realice la administración del sistema de agua. Puede aplicarse en zonas rurales y centros urbanos.

Factores que inciden en la eficiencia de la cloración

La eficiencia de la desinfección depende de los siguientes factores:

Para una efectiva desinfección la turbiedad debe estar por debajo de las 5 UNT.

La cloración se aplica para valores de pH del agua entre 6,2 - 7,8. En este rango se garantiza la mayor formación de ácido hipocloroso y por lo tanto una mayor eficiencia en el proceso de desinfección.

A menor temperatura menor reacción química del cloro.

El tiempo de contacto deberá ser al menos de 30 minutos. Para tiempos menores de contacto, la eficiencia es menor.

La aplicación de esta tecnología es bastante difundida en las distintas regiones del país. Requiere, sin embargo, capacitación y concientización para su uso y mantenimiento.

CRITERIOS DE DISEÑO:

El cálculo de la capacidad del hipoclorador debe hacerse en base a la dosificación y a los caudales máximos de ingreso al tanque de almacenamiento. El primer recipiente que recibe la solución madre, puede tener un volumen mínimo que se indica en la Tabla 1, calculado para una descarga de 7 días, sin embargo, es recomendable dimensionar para un tiempo de vaciado de 14 días, adicionando un volumen extra del 20 %.

Dosificación de cloro

La demanda de cloro se define como la diferencia entre la cantidad de cloro aplicada al agua y la cantidad de cloro residual, en un periodo de contacto. Para la determinación de la concentración de cloro, es recomendable realizar el ensayo que determina la demanda de cloro (punto de quiebre), que determina el cloro residual libre disponible después de reaccionar con otros compuestos.

Para el cálculo de la dosificación se requiere determinar el caudal que ingresa al tanque de almacenamiento, que puede realizarse por el método volumétrico u otro. Con el caudal medido, se prepara la solución madre usando la Tabla 1, estos valores consideran el cloro en polvo HTH al 65 % de cloro activo.

Tabla 1. Cálculo del goteo y preparación de la solución madre (para una duración de 7 días)

Caudal L/s	Peso de cloro (gramos)	Volumen solución madre ** (L)	Gotas por minuto ***
0,3	115	15	12
0,4	140	18	15
0,5	170	22	18
0,6	208	27	22
0,7	240	31	26
0,8	277	36	30
0,9	308	40	33
1,0	346	45	37
1,2	408	53	44
1,5	524	68	56
1,8	624	81	67
2,0	693	90	74
2,25	770	100	83
2,5	862	112	92

**La solución madre (concentración: 5 000 ppm), de mezcla de cloro y agua que se introduce en recipiente.

ppm: Partes de cloro disponible por cada millón de partes de agua

*** Se considera correcto cuando el dosificador proporciona hasta 5 gotas más o menos de lo que indica la tabla. Cada gota tiene aproximado 0,12 ml.

En el proceso de preparación, el hipoclorito de calcio sedimenta el material insoluble, el mismo que deberá ser purgado por medio de una llave de paso instalada al pie del recipiente, como se observa en la Fig.1.

Calibración del dosificador para cloro residual:

Para obtener un cloro residual de 0,2 a 1,0 mg/L (Norma Boliviana 512), se debe medir la concentración en la pileta mas alejada de la red de distribución y verificar si el goteo indicado en la Tabla 1, es suficiente para lograr el cloro residual necesario. En caso contrario, se aumentará la dosificación regulando el micro grifo, por aproximaciones sucesivas, aumentando o disminuyendo el caudal de goteo, hasta obtener el cloro residual exigido.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

El recipiente superior, de almacenamiento de la solución madre, tiene un volumen de 100 - 200 L Fig. 1, en el cual se instala un grifo ubicado a 10 cm del fondo, que se conecta al dosificador mediante una manguera transparente. El dosificador tiene un volumen pequeño de 20 L, donde se instala un flotador conectado a la manguera de alimentación de la solución madre. Esta instalación permite una carga constante para la salida de la solución clorada hacia el tanque de almacenamiento de agua potable.

Para una adecuada regulación del flujo de goteo se recomienda instalar un grifo y un micro grifo, ésta última deberá tener la calibración con las cantidades de goteo por minuto, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 1. Según el caudal que se tiene para el sistema de agua, se recomienda el empleo de accesorios de PVC y recipientes de plástico.

El dosificador de goteo de tubo flotante, consiste en un recipiente de plástico de 100 L, donde se prepara la solución madre, el tubo flotante se conecta a una manguera que se une a una tubería de salida donde está instalado un grifo. Todos los accesorios deben ser de PVC como se observa en la Fig. 2. Todo el conjunto del hipoclorador debe estar protegido de la intemperie, en una caseta, que sirva a su vez para el almacenamiento de los productos químicos. La Tabla 2, muestra los costos directos referenciales de un hipoclorador de carga constante.

Tabla 2. Costos directos referenciales (Bs)

Descripción	Hipoclorador de carga constante	Dosificador con tubo flotante
Costo en bolivianos	1 000	400

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La Tabla 3, muestra las actividades principales a ser consideradas.

Tabla 3. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Aforar	Cada mes verificar el caudal que llega al tanque de almacenamiento, para realizar una adecuada dosificación.
Preparación de la solución madre	Pesar el cloro en gramos, según la Tabla 1, mezclar con 1,0 L de agua, diluirlo y luego verter en el recipiente No. 1, agitando con la cantidad de agua de indicada en tabla 1. (Por razones practicas puede conseguirse un patrón de medida en volumen, pesado y medido en cualquier lugar que se tenga una balanza digital, en 100; 200 gramos etc.), preparar la solución madre para un tiempo no mayor a 14 días.
Verificación de cloro residual	Medir en la pileta mas alejada, comprobar si es correcta la dosificación indicado en la Tabla 1, si no se encuentra el cloro residual necesario, se regulará el micro grifo, por aproximaciones, aumentando o disminuyendo el goteo, utilizando un comparador de cloro. Esperar por lo menos 30' desde el inicio de la cloración.
Limpieza de los conductos	Temporalmente hacer la limpieza de los conductos de conexión, y todos los recipientes.
Protección	Los recipientes deberán estar protegidos contra la intemperie.
Comparador de cloro	Rellenar el pequeño tubo del comparador de cloro con el agua que sale de la pileta e introducir una pastilla de DPD. Agitar el tubo y esperar durante dos minutos hasta que tome un color rosáceo. Comparar este color con la tabla de colores del comparador de cloro, y por aproximación, determinar la concentración del cloro residual, esta deberá esta entre 0,2 a 1,0 mg/L.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
El equipo es liviano y económico. Fácil de manejar. Emplea materiales locales. El costo del hipoclorito de calcio es económico 30 Bs/kg.	Requiere capacitación para su manejo. La falta del compuesto en el mercado local cercano puede ser una amenaza para su sostenibilidad. Si existe exceso en la dosificación del cloro, las personas pueden rechazar su utilización debido al mal sabor que se produce.

Ejemplo de dosificación

Se tiene un sistema de agua por gravedad, con un caudal de ingreso al tanque de 1,0 L/s. Utilizar un equipo de hipoclorador de goteo de carga constante, empleando hipoclorito de calcio con contenido de cloro activo al 70 % (mercado local).

Según la Tabla 1, se requiere un peso de 346 gramos de cloro, para una concentración al 65 %, y un volumen de solución de 45 L. Como se cuenta con HTH en un contenido al 70 % de cloro, el peso considerado será el siguiente:

$$P = P_c \times 65 \% / \% \text{ cloro}$$

P = Peso cloro

P_c = Peso de la tabla 1

$$P = 346 \times 65 \% / 70 \% = 321,3 \text{ gr,}$$

Se debe disolver en 45 L (tabla1), correspondiente a 37 gotas por minuto, para un tiempo de duración de 7 días, la misma deberá calibrarse con 5 gotas, mas o menos ,del valor indicado en la tabla, estas gotas son controlados en la salida del dosificador.

De acuerdo a la tabla 1, se adopta un recipiente de 100 L., para una duración y cambio de de la solución madre en 14 días.

Referencias

(JASS), CEPIS – OPS – OMS, *Guía para Juntas Administradoras de Agua y Saneamiento, 2005*
Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos, *Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable para poblaciones menores a 5000 habitantes, 1999*

ANEXOS

Anexo 1



Foto 1.1 Hipoclorador en funcionamiento, Municipio Sica Sica, Localidad Panduro

G.2		Desinfección solar SODIS		Aplicable a:		Sistema 3		G.2	
Nivel de empleo		Nivel de administración		Entrada producto:		<input type="checkbox"/>		Agua cruda	
+++ Rural concentrada		<input type="checkbox"/> Familia		Salida del producto:		<input type="checkbox"/>		Agua segura	
+++ Rural dispersa		<input type="checkbox"/> EPSA							
+++ Periurbana		<input type="checkbox"/> EPSA							
Aplicable a zona:			+++ Altiplano		+++ Valles		+++ Llanos		

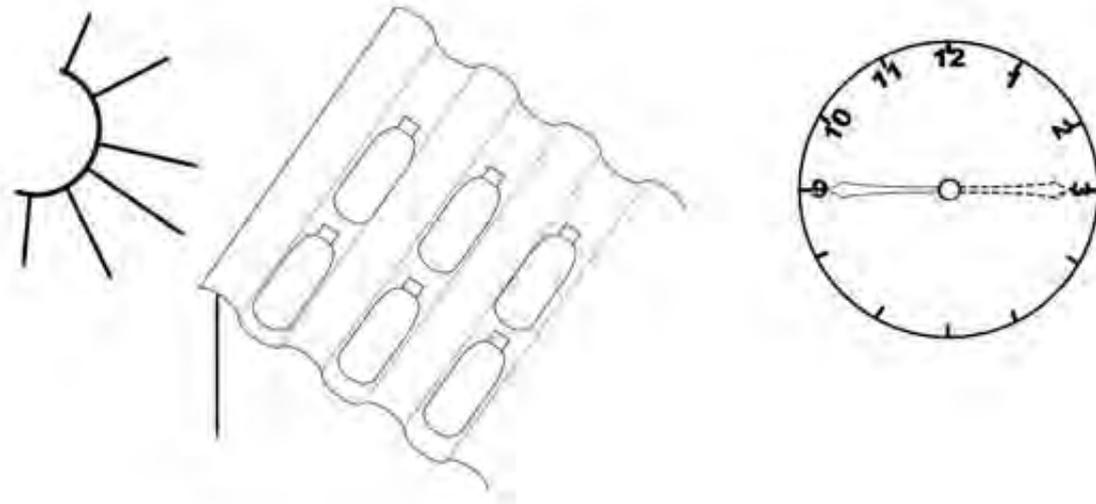


Fig. 1 Exposición de las botellas PET

DESCRIPCIÓN

La desinfección Solar del Agua (SODIS) es una tecnología de solución simple, de bajo costo y ambientalmente sostenible para el tratamiento de agua para consumo humano a nivel doméstico, en lugares en los que la población consume agua cruda y microbiológicamente contaminada.

El método SODIS usa dos componentes de la luz solar para la desinfección del agua: El primero la radiación UV-A tiene efecto germicida y el segundo la radiación infrarroja eleva la temperatura del agua. El uso combinado de la radiación UV-A y el calor produce un efecto de sinergia que incrementa la eficacia del proceso SODIS.

Efectos de la radiación UV:

La radiación solar puede clasificarse en tres rangos de longitud de onda: radiación UV, luz visible y radiación infrarroja. El ojo humano no puede percibir la radiación UV, que tiene un rango de radiación muy agresiva, que puede causar daños severos a la piel y a los ojos que puede destruir las células vivas. Afortunadamente, la mayoría de la luz UV-C y UV-B, en el rango de 200 a 320 nm³, es absorbida por la capa de ozono (O) en la atmósfera que protege a la tierra. Solo una fracción de la radiación UV-A, con un rango de longitud de onda de 320 a 400nm, cercano a la luz violeta visible, llega a la superficie de la tierra. Es esta fracción de la radiación solar la que penetra en las botellas y tiene un efecto germicida.

La luz UV-A tiene un efecto letal en los patógenos presentes en el agua que afectan a los humanos. Estos patógenos no se adaptan bien a las condiciones

ambientales agresivas, pues sus condiciones de vida específicas son las de tracto gastrointestinal. Por lo tanto son sensibles a la luz solar que los organismos que abundan en el ambiente.

La radiación UV-A interactúa directamente con el ADN, los ácidos nucleicos, las enzimas y las paredes de las células vivas; cambia la estructura molecular y puede producir la muerte de la célula. La radiación UV también reacciona con el oxígeno disuelto en el agua y produce formas altamente reactivas de oxígenos (radicales libres de oxígeno y peróxidos de hidrógeno). Estas moléculas también interfieren en las estructuras celulares y matan a los patógenos.

Efectos de la temperatura (radiación infrarroja):

Otro aspecto de la luz solar es la radiación de onda larga, denominada infrarroja. Esta radiación tampoco puede ser vista por el ojo, pero podemos sentir el calor producida por la luz con una longitud infrarroja absorbida por el agua es responsable de su calentamiento.

Los microorganismos son sensibles al calor. La Tabla 1 presenta **Resistencia térmica de microorganismos** la temperatura y el tiempo de exposición necesarios para eliminar microorganismos. Puede verse que el agua no tiene que hervir para matar el 100 % de los microorganismos y que el calentamiento del agua a 50-60 °C durante una hora tiene el mismo efecto.

Tabla 1. Temperatura en °C para una desinfección al 100 %

Microorganismos	1 min.	6 min.	60 min.
Enterovirus			62
Rotavirus			63
Coliformes fecales			
Salmonella		62	58
Shigella		61	54
Vibrio Cholerae			45
Quistes de Entamoeba histolytica	57	54	50
Quiste de Giardia	57	54	50
Huevos y larvas de gusano ganchudo	68	62	51
Huevos de áscaris	60	62	57
Huevos de esquistosomo	65	55	50
Huevos de tenia		57	51

Efecto de SODIS en los patógenos:

Los patógenos que afectan a los humanos se adaptan a vivir en los intestinos de las personas, donde encuentran un ambiente húmedo y oscuro, con temperaturas que oscilan entre los 36°C a 37 °C. Una vez descargados en el medio ambiente, estos patógenos son muy sensibles a las condiciones fuera del cuerpo humano.

No pueden tolerar temperaturas elevadas y no tienen un mecanismo de protección contra la radiación UV. Por lo tanto es posible usar la temperatura y la radiación UV para inactivar a estos patógenos.

La mayoría de los patógenos que atacan a los humanos son muy frágiles; fuera del cuerpo humano no pueden multiplicarse y mueren. Una de las pocas excepciones la constituye la salmonella, la cual sin embargo, requiere condiciones ambientales favorables (como un suministro adecuado de nutrientes) para sobrevivir.

Las investigaciones han demostrado que el método SODIS, destruye las bacterias y los virus patógenos. Se ha documentado la inactivación de los siguientes microorganismos: *Bacterias*: Escherichia Coli (E. Coli), Vibrio Cholerae, Streptococcus faecalis, Pseudomonas aeruginosa, Shigella flexneri, Salmonella typhii, Salmonella enteritidis, Salmonella paratyphi. *Virus*: Bacteriófagos f2, Rotavirus, Virus de la Encefalomiocarditis.

Levadura y Mohos: Aspergillus niger, aspergillus flavus, Candida, Geotrichum.
Parásitos:
Cryptosporidium parvum, Giardia lamblia.

Es importante señalar que SODIS no produce agua estéril. Organismos diferentes a los patógenos que afectan a los humanos, por ejemplo las algas, se adaptan bien a las condiciones ambientales dentro de las botellas SODIS y pueden incluso desarrollarse allí; sin embargo, estos organismos no representan un peligro para la salud humana.

Indicadores usados para la eficacia del SODIS:

La metodología para determinar la presencia de patógenos, SODIS considera que es más fácil detectar un organismo indicador que señala la presencia de contaminación fecal en el agua. El organismo que cumple los requisitos de parámetro es el Escherichia coli (E. coli, coliforme fecal). Este organismo es un buen indicador para determinar la contaminación fecal del agua. Las bacterias coliformes totales no se pueden tomar como indicador de la calidad sanitaria del agua cruda, pues abundan naturalmente en el ambiente.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

La eficacia de SODIS depende de la cantidad de la luz solar disponible, la radiación solar se distribuye de manera irregular y su intensidad varía de una ubicación geográfica a otra, dependiendo de la latitud, de la estación y de la hora del día.

La variación de la radiación solar depende en gran parte de su latitud. En general, las regiones entre 35 °N y 35 °S son las que reciben, mayor cantidad de radiación solar. Es importante señalar que la mayoría de los países en desarrollo están ubicados entre la latitud 35 °N y 35 °S. Por tanto, pueden basarse en la radiación solar como fuente de energía para la desinfección solar del agua para consumo humano. En Bolivia es aplicable en todas las zonas geográficas.

El método SODIS ha sido probado en el país, como en diferentes países con resultados favorables, con costos mínimos cargados fundamentalmente en la implementación de capacitaciones.

CRITERIOS DE DISEÑO

Las variaciones estacionales de la radiación solar son importantes para la aplicabilidad del método de desinfección solar del agua. Antes de la implementación de SODIS en el lugar específico, es necesario determinar las intensidades estacionales de la radiación: Para que SODIS sea eficaz, es necesario contar con una intensidad total de radiación de por lo menos 500 W/m², durante aproximadamente 5 horas.

La intensidad solar también está sujeta a variaciones diarias. Al incrementarse la nubosidad, se cuenta con menos energía de radiación. Durante los días completamente nublados, la intensidad de la radiación solar UV-A se reduce a un tercio de la intensidad registrada durante un día despejado como se observa en la figura.

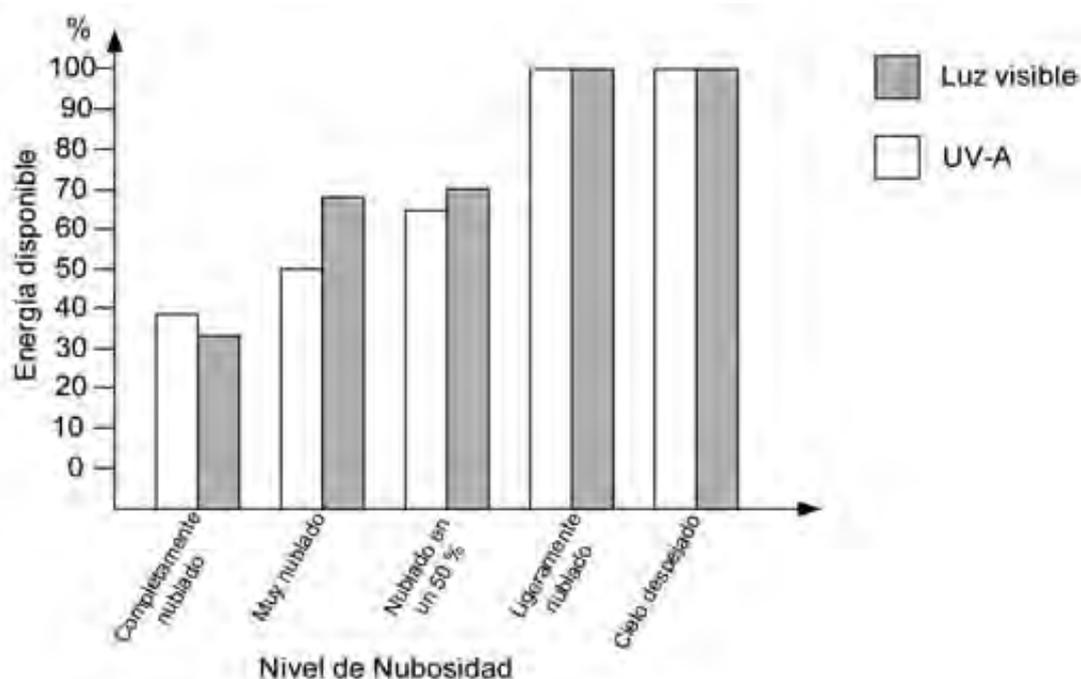


Fig. 2. Pérdida de energía solar disponible en diferentes condiciones climáticas

Turbiedad del agua

Las partículas suspendidas en el agua reducen la penetración de la radiación solar en el agua e impiden que los microorganismos sean irradiados. Por lo tanto, la eficacia de desinfección de SODIS se reduce en agua turbia.

SODIS requiere agua relativamente clara, con una turbiedad menor a 30 UNT, (Unidad Nefelométrica de turbiedad). Si el agua es mayor 30 UNT, es necesario pre-tratar el agua antes de exponerla a la luz solar.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Varios tipos de materiales plásticos transparentes son buenos transmisores de luz en el rango UV-A y en el visible del espectro solar. Las botellas de plástico están hechas de PET o de PVC, es recomendable el uso de botellas PET. Con agua clara, se tiene una buena eficiencia hasta una profundidad de 20 cm., por este aspecto se

recomienda usar botellas PET descartables de hasta 3 litros. Las botellas pueden mantenerse cerradas. De esa manera, se reduce el riesgo de recontaminación.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Tabla 2. Actividades principales de Operación y Mantenimiento

Actividad	Acciones claves
<p>Aplicación</p> <p>Procedimiento de exposición</p>	<p>Verificar si las condiciones climáticas son adecuadas para SODIS. Conseguir botellas de plástico PET de hasta 3 litros. Verificar que las botellas sean cerradas herméticamente. Para ello se debe comprobar el estado de la tapa. Elegir un soporte adecuado para exponer la botella. Verifique que el agua este suficientemente clara para SODIS (turbiedad <30 UNT). Usar botellas transparentes de plástico y tapas limpias, de refresco o gaseosa, (no de color). Llenar las botellas con agua clara y taponarlas bien Colocar las botellas al sol temprano en la mañana en el techo de la casa o sobre una calamina, teja o piedra, exponer mas de 6 horas. Al final del día recoger las botellas, si el cielo estuvo nublado, dejar las botellas por un día más. Dejar enfriar el agua y tomar en un vaso limpio</p>
Días muy nublados	Las botellas de SODIS tienen que estar expuestas al menos durante dos días consecutivos, en días muy nublados para alcanzar la radiación requerida y garantizar la inactivación de los patógenos.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>No utiliza combustible o gas.</p> <p>Es gratuita.</p> <p>Utiliza botellas PET existentes en todas partes Fácil de practicar.</p> <p>Se consigue un agua con una desinfección confiable, apta para consumo humano.</p>	<p>El agua deberá ser clara o tener una turbiedad menor a 30 UNT.</p> <p>Requiere hábito para su continuo uso.</p> <p>No puede ser usado botellas de otro color o de cristal.</p> <p>Requiere esperar mínimo 6 horas una vez expuesto al sol, para la ingesta del agua.</p> <p>Es solo para pequeñas cantidades de agua.</p>

Referencias:

FUNDACIÓN SODIS PARA AMERICA LATINA, Desinfección Solar del Agua, 2005
 Fundación Sodis, Plan Internacional Bolivia, UNICEF, Agua Tuya, Sumaj Huasi, Cruz Roja Boliviana, Water For People, Caritas, Care y otras.

ANEXOS

Anexo 1. Procedimiento



Foto 1.1 Descolado etiqueta



Foto 1.2 Lavado de botella PET



Foto 1.3. Lavado de manos



Foto 1.4 Llenado botella



Foto 1.5 Cierre botella



Foto 1.6 Exposición al sol



1.7 Consumiendo agua SODIS

I.2		Aerobomba		Aplicable a: Sistema 1		I.2
Nivel de empleo +++ Rural concentrada +++ Rural dispersa + Periurbana		Nivel de administración +++ Familia +++ EPSA +++ EPSA		Entrada producto: <input type="checkbox"/> Agua clara		
				Salida del producto: <input type="checkbox"/> Agua clara		
Aplicable a zona:		<input type="checkbox"/> ++ Altiplano		<input type="checkbox"/> +++ Valles		<input checked="" type="checkbox"/> +++ Llanos



Fig. 1 Corte de aerobomba directa



Fig. 2 Corte aerobomba indirecta

DESCRIPCIÓN

La energía renovable eólica, es una opción técnica para su aplicación en zonas alejadas donde extender las líneas eléctricas son costosas, el viento se utiliza como fuente de energía no renovable para operar bombas de agua, para suministro de agua para el consumo humano y/o otros usos, el dispositivo mas común es el molino de viento o denominado rotor eólico y sus otros mecanismos, todo este conjunto es denominado aerobomba, las mas utilizadas y fabricadas en el país son a base de palas o hélices, ver Fig 1 y 2.

El equipo esta compuesto por: un rotor eólico, sistema de engranajes, transmisión, sistema de bombeo, sistema de seguridad y torre soporte, el rotor esta provisto de 15 a 40 hélices de acero o galvanizadas, para soportar velocidades de viento reguladas, el rotor puede ser variable, dependiendo de la energía requerida, en el sistema de engranajes y transmisión, el eje empieza el movimiento giratorio cuando se tiene un viento mayor a 3 m/s (10,8 km/h), el giro es transmitido a un sistema de engranajes, este convierte el movimiento rotacional horizontal a oscilatorio vertical, ascendente a descendente, este movimiento es transmitido a la bomba de pistón, por medio de varillas de actuación.

La bomba es de desplazamiento positivo, reciprocante de efecto simple, en cada carrera se desaloja un volumen de agua ocupado por el pistón, el cilindro tiene

un diámetro de 2 ½” a 3”, puede ser de bronce o PVC E-40, el pistón lleva dos empaques de cuero de fácil mantenimiento.

Para velocidades de viento intensos superiores a 8 m/s, los mecanismos actuales poseen un sistema de seguridad automática para detener totalmente el giro del rotor, para operaciones de mantenimiento. En Bolivia se cuenta con velocidades de viento entre 3 a 9 m/s.

La torre eólica es una estructura piramidal autoportante construida con material de acero estructural, cuenta con tensores estructurales, la torre es sólida y soporta todas las sollicitaciones causadas por el viento y de la misma aerobomba, las alturas de las torres varían de 6 a 14 m, según las necesidades del usuario y/o aplicaciones para las que son diseñadas. Es recomendable para fines de adquisición consultar con el proveedor, indicando todas las características, locales existentes, caudal de producción del pozo, diámetro del pozo, nivel dinámico del pozo, altura de impulsión total requerida, viento existente etc.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para la elección de esta tecnología, se toma en cuenta la velocidad del viento efectivo en la zona de implementación, demanda de agua diaria requerida, capacidad del pozo, rendimiento de la aerobomba y altura del tanque de almacenamiento. La velocidad del viento deberá ser mayor a 3 m/s (10,8 km/h), es factible en zonas del Altiplano, Valle y Llanos, en el Anexo 2, Fig. 3 se muestra el Mapa eólico de Bolivia, junio 2009, elaborado por la Transportadora de Electricidad TDE, esta información permite establecer las zonas más factibles para el aprovechamiento de esta energía.

Este tipo de bombas se puede aplicar también, a efluentes de las plantas de tratamiento de agua residuales domésticas, para elevar el agua tratada a nivel de terreno, la aerobomba indirecta es la más recomendable, solo se debe cambiar la válvula de pie para agua turbias.

En el país se ha implementado esta tecnología en talleres locales, como se indica en el cuadro siguiente:

Departamento	Municipio	Localidad
La Paz	Laja	82 unidades familiares en las localidades de: Chiaruyo, Cantuyo, Ullajara, Sullakata Baja, Avicaya, Quellani, Copajira, Puchuni, Tambillo.
La Paz	Pucarani	Chojñacollo, Rio Grande, Ancocagua, Cota Cota, Iquiaca, Chojasivi
Chuquisaca	Camargo	Camargo

No existe registro oficial de otras localidades

CRITERIOS DE DISEÑO

En la tabla siguiente nos muestra las características técnicas, que nos permiten establecer la elección más adecuada de la tecnología.

Tabla 1 Características técnicas de las aerobombas

Tipo de aerobomba	Diámetro mínimo del pozo (pulg.)	Impulsión altura manométrica (m)	Altura de impulsión efectiva sobre terreno (m)	Caudal de bombeo (L/h)	Altura de la torre (m)
Directa	3	< 25 m	6 -10	1 200 a 1 500	6 - 14
Indirecta	6	< 25 m	> H. torre	1 200 a 1 500	6 - 14

Para un mayor volumen de explotación es posible la instalación de aerobombas en paralelo, dependiendo de la existencia de los pozos excavados o perforados.

Se tiene mayor rendimiento del rotor eólico, donde exista mayor densidad atmosférica del aire, para referencia la densidad es mayor a nivel del mar (1 293 kg/m³), también es afectado por la temperatura y presión. Se deberá evitar la obstaculización del flujo del viento, como ser árboles, serranías etc.

Con vientos de 5 m/s, la capacidad se reduce aproximadamente en un 20%; con vientos de 4 m/s, alrededor del 38%.

El caudal de oferta del pozo deberá ser mayor a la impulsada por la aerobomba. Si la calidad del agua no cumple las exigencias de potabilidad, se deberá adicionar un tratamiento.

Es adaptable para aguas turbias solo con el cambio de la válvula de pie. Es aplicable, como ejemplo, para elevar aguas residuales tratadas, en lagunas de estabilización a nivel superior del terreno y aprovechar para riego.

Información de las velocidades de viento localizadas, pueden ser halladas en Transportadora de Electricidad, Atlas Eólico de Bolivia TDE, solicitando a 3 TIER ver anexo 2 mapa eólico.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

El rotor es de eje rotacional horizontal, está provisto de 15 a 40 palas, está diseñada con aspas de acero galvanizado para soportar inclemencias del tiempo y guiado por una cola de orientación la cual actúa a una velocidad del viento mayor a 3 m/s (10,8 km/h), el rotor tiene un diámetro de 2 a 2.5 m.

La válvula, es construido de bronce fundido tipo pistón de 2 ½" a 3", el cilindro de 3" permite un desplazamiento de volumen de 500 cc., en cada acción. El pistón lleva dos empaques de cuero, de fácil mantenimiento. El sistema posee la seguridad manual y la automática, para detener totalmente el giro del rotor, esto para detener el bombeo de agua y/o para operaciones de mantenimiento. La torre eólica es una estructura piramidal autoportante construida con material de acero estructural y sujetado con tensores estructurales, para soportar solicitaciones causadas por el viento.

Tabla 2. Aerobombas. Costos directos referenciales (Bs)

Altura torre (m)	De acción directa	De acción indirecta
9	21 000	23 000
11	25 000	27 000
14	27 000	31 000

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La regulación es automática para proteger al equipo contra fuertes vientos. El dispositivo de freno manual está debajo del molino fuera de la torre, y no mantiene contacto con las partes móviles.

La pieza que requiere mayor mantenimiento es el pistón, se deberá cambiar el empaque de cuero cada uno o dos años, dependiendo del uso, en el caso que el pistón sea de fabricación extranjera; si es de fabricación nacional es preferible contar con el repuesto completo del pistón, o cambiar el empaque.

Tabla 3 Actividades Principales de Operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Engrase de los engranajes del rotor	Cada año realizar el engrase los rodamientos del mecanismo.
Verificación del nivel del agua pozo	Observar que el pistón debe estar siempre sumergido en el agua.
Verificación de funcionamiento pistones	Se debe verificar que el agua que se bombea sea uniforme, en caso contrario, se tiene el desgaste de los pistones, recomendándose cambiar el empaque de cuero, o cambiar el repuesto. Ajustar los pernos.
Estabilidad de la torre	Verificar los cimientos de las bases de las torres, reponer si es necesario o corregir.
Velocidad de viento mayor a lo previsto	Cortar con el freno manual que está debajo del molino.
Mantenimiento de la estructura	Repintado de todas las partes de la torre.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Es una fuente de energía segura y renovable.</p> <p>No se produce emisiones a la atmosfera ni genera residuos.</p> <p>Se implementa donde no exista energía eléctrica.</p> <p>No se paga por la energía.</p> <p>Fabricación nacional.</p> <p>Operación y mantenimiento sencillo.</p> <p>Costo inicial bajo.</p> <p>Durable.</p> <p>Construcción rápida.</p> <p>Es adaptable para aguas turbias solo con el cambio de la válvula de pie.</p>	<p>Producción de agua limitada.</p> <p>Presión de impulsión limitada.</p> <p>La producción de agua se reduce cuando la velocidad del viento es baja.</p> <p>El impacto visual, su instalación genera una modificación del paisaje.</p> <p>Impacto sonoro: el roce de las palas con el aire produce ruido constante, la casa mas cercana deberá estar a 200 m.</p> <p>Impacto sobre la avifauna: principalmente por el choque de las aves contra las palas, efectos desconocidos sobre modificación de los comportamientos habituales de migración y anidación.</p> <p>El caudal de oferta del pozo deberá ser mayor a lo impulsado por la bomba.</p>

Referencias:

Cooperativa de Texas Extensión, *El Sistema Universitario Texas A& M*
 Taller de fabricación SATA La Paz, telf.,2862002, cel. 71943053
 Taller de fabricación UMA, La Paz, cel. 71907293
 Talleres AES
 Transportadora de Electricidad, *Atlas Eólico de Bolivia*, 2009

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS

ANEXO 1.



Foto 1.1 Aerobomba impulsada a tanque elevado
Localidad: Taraco - La Paz



Foto 1.2 Aerobombas en paralelo
Localidad: Escoma - La Paz

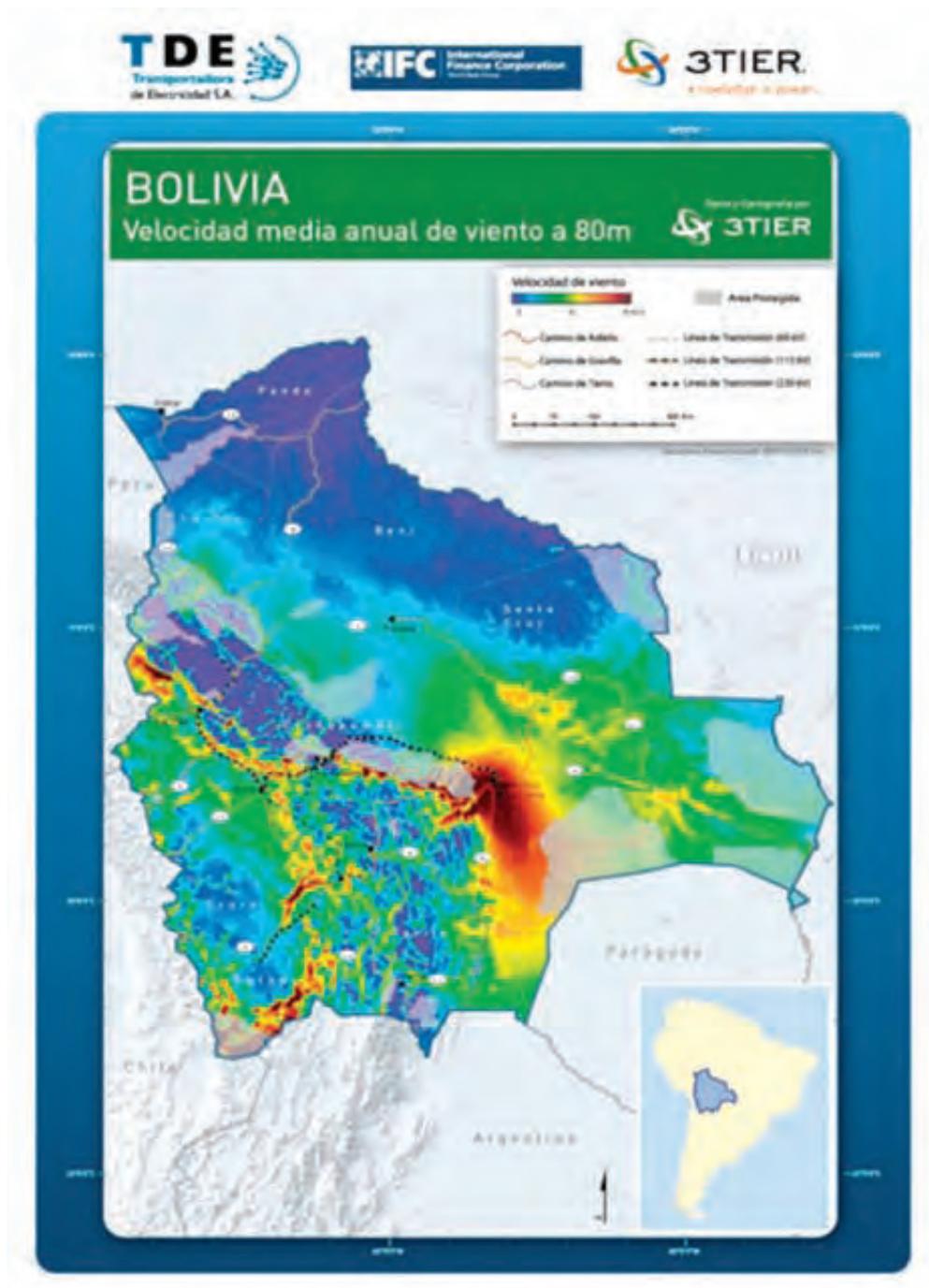


Fig. 1.3 Mapa Eólico de Bolivia

I.3		Bomba de Ariete		Aplicable a:		Sistema 1		I.3	
Nivel de empleo		Nivel de administración		Entrada producto:		<input type="checkbox"/>		Agua clara	
+++ Rural concentrada		+++ Familia		Salida del producto:		<input type="checkbox"/>		Agua clara	
Rural dispersa		EPSA							
+ Periurbana		+++ EPSA							
Aplicable a zona:		+++ Altiplano		+++ Valles		+++ Llanos			

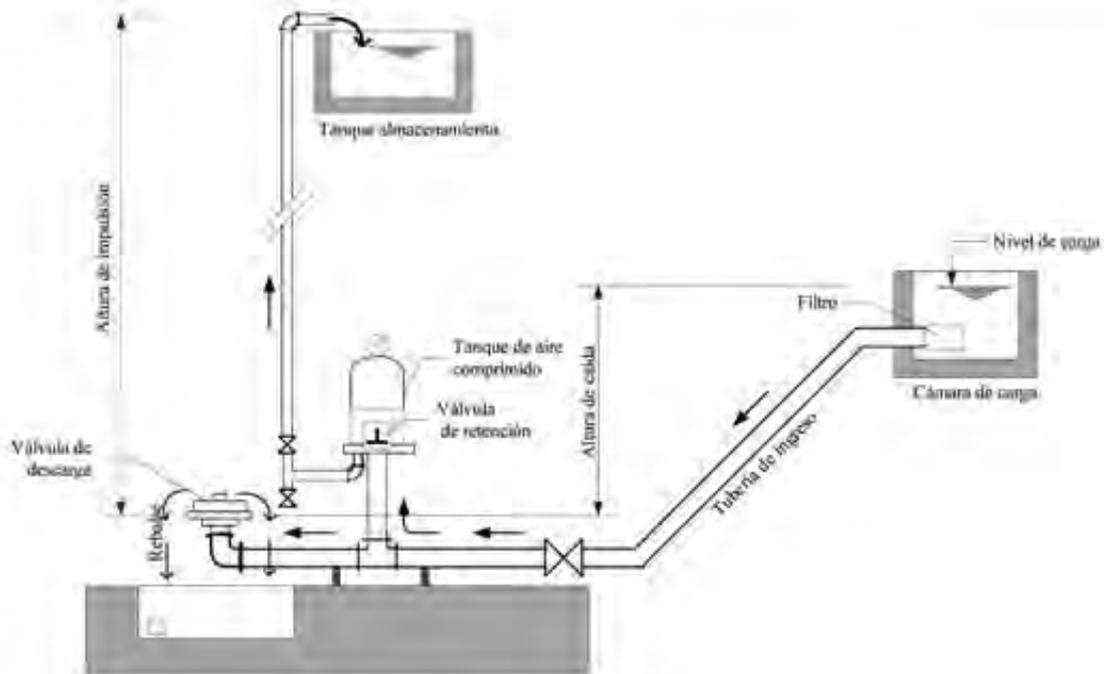


Fig. 1 Perfil de la bomba de ariete

DESCRIPCIÓN

La bomba de ariete es una máquina hidráulica sencilla que opera bajo el principio de aprovechamiento del golpe de ariete. Con este efecto se cumple que por metro de caída hidráulica, el ariete puede elevar hasta 10 metros, trabajando con solo la energía de la corriente de agua, esta tecnología está condicionada a la existencia de un caudal de oferta superior a la demanda, el flujo de agua deberá ser permanente, proveniente de un arroyo, río, canales y vertientes, que permita un desnivel topográfico.

El agua que fluye por la tubería de ingreso gracias al impulso proporcionado por una altura de caída (desde 1 hasta 15 m.), rebalsa por la descarga hasta que su impulso obliga a la válvula de descarga a cerrarse. Al cerrarse la válvula de descarga, el impulso de la columna de agua que fluye por la tubería se transforma, por un instante, en presión que obliga a abrirse a la válvula de retención y se cierra nuevamente. El agua que fue parada en la tubería por el cierre de la válvula de descarga, rebota y produce una onda de presión negativa que obliga a esta válvula a abrirse nuevamente, ahora la válvula de descarga esta abierta y el ciclo se repite ver Fig. 1.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

La toma de agua puede ser, encausado de un río, arroyo, vertientes y canales de escurrimiento superficial, donde haya abundante agua o donde exista precipitaciones pluviales permanentes. Requiere de una caída de agua para elevar a un tanque de almacenamiento. Puede ser empleado en cualquier región del país.

No es indispensable que exista una gran caudal ni una gran caída para su funcionamiento, es suficiente una caída de un metro de altura para obtener buenos resultados, tomando en cuenta que la bomba está en funcionamiento las 24 horas del día, con poco caudal puede abastecerse a pequeñas poblaciones. Es aplicable donde no exista energía eléctrica en la zona.

Para consumo humano, se deberá acompañar con un tratamiento, para su potabilización, mediante otras tecnologías factibles como el FIME, tanto a nivel familiar como a nivel comunal.

En el país no se tiene mucha referencia de esta tecnología, como se indica en el cuadro siguiente:

Departamento	Municipio	Localidad
La Paz	Palca	Tacachia

No se cuenta con registro oficial

CRITERIOS DE DISEÑO

Para la elección del tamaño del ariete se determina mediante la fórmula:

$$q = \frac{Q \times n}{(H/h)}$$

Donde:

q: Caudal de agua bombeada (L/min)

Q: Caudal que alimenta el ariete (L/min) (consumo)

H: Altura de bombeo (m)

h: Altura de caída del agua (m)

n: Eficiencia del ariete (60 %)

Ejemplo:

Si H = 2m, H = 16 m, Q = 60 L/min

H/h = 8, q = 60 x 0,6/8 = 4,5 L/min (6,48 m³/día) caudal bombeada, tamaño del ariete de 2", según la tabla 1, para Q = 60 L/min (1,0 L/s).

El consumo de agua del ariete es regulable y depende de la altura de caída, en la Tabla No.1, se indican los rangos de consumo de agua Q, de los distintos tamaños.

Tabla 1. Elección del tamaño del ariete

Tamaño del ariete (pulgadas)	2"	3"	4"	6"
Consumo total del ariete Q (L/min)	7 a 160	18 a 250	34 a 450	65 a 1300
Altura máxima de impulsión (m)	90	70	40	25
Diámetro de tubería de alimentación (pulgadas)	2	3	4	6

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

La válvula de descarga y el tanque de aire están fabricados en chapa de acero inoxidable y teflón. La válvula de descarga esta dotada de una rosca con contratuerca que permite regular la apertura del disco obturador y, con ello, el caudal de agua consumido. El distribuidor esta ensamblado de piezas de acero galvanizado, accesibles en todos los mercados locales nacionales. La válvula de retención en el interior del tanque de aire también está dotada de un sistema de regulación que permite optimizar el rendimiento para un mismo ariete en distintas instalaciones.

Tabla 2. Bombas de ariete. Costos directos referenciales (Bs)

Tamaño del ariete	2"	3"	4"	6"
Costo en Bs.	4 603	6 215	10 322	16 148

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El funcionamiento de la bomba es automática, se requiere el control de los mecanismos del equipo, ajustando la válvula de impulso, de los ciclos por unidad de tiempo, generalmente esta puede variar de 50 a 250 ciclos minuto, cuanto mas rápida sea, menor es la cantidad de agua elevada, pero menor la cantidad de agua desperdiciada en la operación.

El mantenimiento se reduce a asegurar que el agua fluya sin suciedades, el agua turbia no impide su funcionamiento, pero se debe controlar las arenas evitando su ingreso al equipo. Se debe proteger asimismo la captación y la estructura de la bomba contra crecidas en época de lluvias. Verificar que el caudal bombeado, es la normal indicado por el fabricante.

Tabla 6. Actividades Principales de Operación y Mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Verificación de posición	Revisar la ubicación de la bomba, para verificar algún desplazamiento por efectos de la vibración.
Verificación de desgaste	Se deberá verificar si hay desgaste en la piezas.
Registro de Información	En el libro de registro diario verificar el caudal normal de bombeo.
Verificación del número de ciclos	Verificar el número de ciclos de funcionamiento de la bomba, como se ha determinado originalmente.
Limpieza	Limpia la estructura donde está instalada la bomba, especialmente en la toma, para evitar el ingreso de sólidos flotantes. Mantener libre de obstrucciones y de arena la entrada de agua.
Cambio de empaque	Cada 6 meses realizar un recambio de la goma del empaque.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
No requiere de energía eléctrica o combustible.	Esta tecnología es dependiente del caudal de la fuente de agua.
Permite elevar el agua hacia tanque de almacenamiento.	Es dependiente de la altura de caída.
El equipo es de bajo costo.	La variación de caudal de la fuente, puede ocasionar disminución de caudal de impulsión. La vibración puede dañar a la bomba.
El accionamiento es hidráulico.	Si entra aire en la toma puede afectar el funcionamiento de la bomba.
Fabricación nacional.	Se pierde agua en la fuente de agua.
Reducida mano de obra especializada.	Requiere tratamiento del agua para consumo humano.
Trabaja las 24 horas.	
Puede instalarse en paralelo.	

Referencias:

TALLERES AES, Arietes Hidráulicos AES, año 2010; Cochabamba – Bolivia *MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PUBLICAS VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BASICOS, Operación y Mantenimiento de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento, para poblaciones menores a 10.000 habitantes.*

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS

ANEXO 1



Foto 1.1 Bomba de Ariete en funcionamiento



Foto 1.2 Bomba de Ariete, localidad de Tacachia,
Municipio Palca - La Paz
Gentileza: EWB-MST / E.I.A.

1.4	Bomba Fotovoltaica	Aplicable a: Sistema 1	1.4
Nivel de empleo	Nivel de administración	Entrada producto: <input type="checkbox"/> Agua clara	
+++ Rural concentrada	+++ EPSA	Salida del producto: <input type="checkbox"/> Agua clara	
+++ Rural dispersa	+++ Familia		
+++ Periurbana	+++ EPSA		
Aplicable a zona:		<input type="checkbox"/> Altiplano	<input type="checkbox"/> Valles
		<input type="checkbox"/> Llanos	

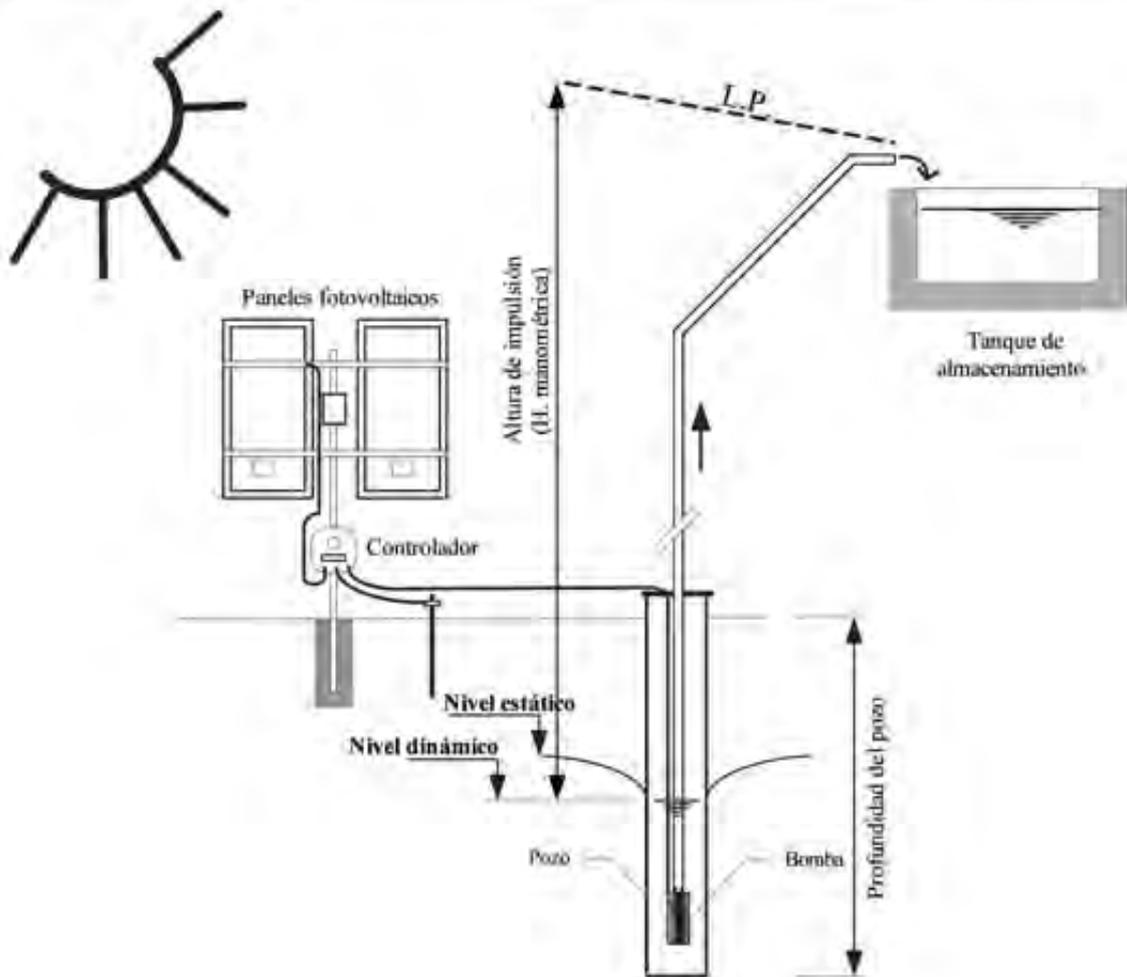


Fig. 1 Esquema sistema de bombeo

DESCRIPCIÓN

El sistema de bombeo fotovoltaica, emplea la energía renovable del sol, transformándola en energía eléctrica, por medio de módulos o paneles fotovoltaicos, las mismas que están formadas por células o celdas fotovoltaicas, que son dispositivos formados por metales sensibles a luz que desprenden electrones cuando los fotones inciden sobre ellos y convierten la energía luminosa en energía eléctrica. Las células se montan en serie sobre paneles o módulos solares, para conseguir un voltaje adecuado a las aplicaciones eléctricas, estos paneles captan la energía solar transformándola directamente en eléctrica, en forma de corriente continua incluso puede generar en días nublados: Las aplicaciones mas frecuentes son: para electrificación de casas en el área rural, para bombeo de agua, riego y otras aplicaciones.

La energía proporcionada de los paneles, se utiliza para el funcionamiento de un motor y su bomba de agua, mientras mas celdas están conectados en serie, mayor es el voltaje que suministran; mientras mas celdas en paralelo, mas alta la corriente.

Para brindar a las celdas la máxima protección, en las condiciones ambientales de operación más severas, estas se encuentran encapsuladas entre una cubierta de vidrio templado y una cobertura de vinilo etilénico, con fluoruro de polivinilo y una lámina de respaldo. Todas estas partes básicas se encuentran montadas en un marco de aluminio anodizado a fin de proveer resistencia estructural y facilidad de instalación

Mediante la conexión tanto en corriente continua como alterna, existen diversos modelos de bombas, siendo el mas conocido el de accionamiento directo y otro mediante bomba de corriente alterna. A partir de la energía generada por los módulos, esta pasa directamente a un controlador y al motor haciendo accionar la bomba, puede ser de rotor helicoidal, para gran altura y poco caudal y la bomba centrífuga, para poca altura mayor caudal, todo el sistema es automatizado.

El conjunto de elementos para el sistema eléctrico, compone de un generador solar, constituido por los paneles fotovoltaicos, que captan la energía luminosa, un controlador o equipo de control (Tablero de mando, elementos de seguimiento, mecanismos condicionadores de potencia, inversores de CC/AC, acumulación de carga, arrancadores, etc.).

Para el abastecimiento de agua mediante las bombas solares, consta de los paneles fotovoltaicos, un pozo de agua, una bomba sumergible, una línea de impulsión, un tanque de almacenamiento, tablero de control, estructura metálica de soporte, estructura base de hormigón simple, para apoyo de la estructura metálica, caseta para la protección del tablero de control y cerco perimetral se seguridad, como se muestra en la Foto 1.1, todo el sistema funciona en forma automática, con controles automáticos en pozo y tanque elevado.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Esta solución técnica es apropiada para localidades, donde no exista energía eléctrica, pequeñas familias concentradas y/o alejadas.

Las bombas a ser elegidas, están en función a la disponibilidad de la fuente de agua, estas pueden ser: sumergibles, centrifugas fijas o flotantes, es recomendable realizar la consulta al proveedor, para la elección mas adecuada.

En el país se tiene experiencias con este tipo de tecnologías.

Departamento	Municipio	Localidad
La Paz	Caquiaviri	Villa Anta
La Paz	Corocoro	Sora Lupirana
Oruro		Socamani

No se cuenta con registro oficial

CRITERIOS DE DISEÑO

Un sistema de bombeo con energía solar, es dimensionado de acuerdo a las necesidades o demandas de volumen diario de agua y altura total manométrica de impulsión. Los distintos proveedores ofrecen variedad de marcas con sus eficiencias y sus características técnicas. De los diversos modelos de sistemas de bombeo fotovoltaicos, el más conocido es el de accionamiento directo.

En todos los casos existe una relación directa entre la radiación solar y el caudal impulsado por la bomba solar. Cuando los rayos del sol son mas intensos, en panel solar también suministra lo máximo de energía y en forma directa, la bomba también impulsa en igual magnitud, contrariamente cuando la luz del sol es menos intensa, el rendimiento de la bomba también disminuye, como se muestra en la Tabla 1 de referencia.

Un ejemplo de instalación y su rendimiento se muestra a continuación:

Volumen requerido: 10 m³/día (referencia)
 Ubicación: Santa Cruz Bolivia (17,8 S; 63,2 O)
 Profundidad de instalación: 45 m
 Numero de paneles: 13 unidades

En la tabla 1, muestra las variaciones de producción de agua, en promedio mensual

Tabla 1. Rendimiento del sistema – promedio mensual

Descripción	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Producción de agua (m ³ /día)	10	10	9	8	7	6	8	9	9	10	11	10
Radiación (kW/m ² día)	5,8	5,4	5,3	4,7	3,9	3,6	4,4	5,3	4,9	5,9	6,1	5,7
Ángulo de inclinación (grados)	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17

Siendo la producción mayor en el mes de noviembre y menor en junio.

El caudal de producción de agua, varía también con las horas del día, como se muestra en la tabla 2, para la ubicación indicada.

Tabla 2. Producción de agua en el mes de noviembre

Hora del día	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
m ³ / h	0,01	0,61	1,2	1,4	1,6	1,6	1,5	1,3	1,1	0,58

Los tipos y formas de bombas fotovoltaicas, son siempre menores en capacidad a las convencionales con energía eléctrica o de un generador, para la implementación se deberá consultar al proveedor.

En la Tabla 3, se muestra datos técnicos para la elección de la cantidad de paneles a ser empleadas, para una impulsión con bomba sumergible fotovoltaica, en condiciones normales de luminosidad del día. Teniendo el requerimiento del volumen diario y altura de impulsión manométrica (referido al nivel dinámico), permite determinar el número de paneles solares para las condiciones locales.

Tabla 3. Número de paneles solares, en función de altura impulsión y volumen día

Altura de impulsión manométrica (m)	Volumen de producción (m3/día)			
	5	10	15	20
25	6	9	13	16
45	8	13	22	30
65	10	20	32	

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Para la instalación de los paneles solares se debe tomar en cuenta el ángulo y la dirección necesarios para captar diariamente la mayor cantidad de la radiación solar, no deben existir interferencias de vegetación circundante, construcciones, amenazas de la existencia de polvo.

Todos los accesorios y la estructura deben estar preparados y tener la resistencia para soportar las inclemencias del ambiente.

La estructura metálica de soporte debe ser de aluminio o estar pintada para evitar su oxidación

Para la instalación de la bomba, se deben conocer con certeza o verificar los niveles estático y dinámico. La bomba deberá estar siempre sumergida con un altura mínima de 1,0 m, por encima de la bomba..

Es recomendable construir un cerco de protección, para evitar el ingreso de personas ajenas o animales.

Generalmente el proveedor ofrece el módulo completo, como ser los paneles solares, controlador para bomba de agua, bomba sumergible, soporte metálico, accesorios para interconexión de paneles solares, accesorios de conexión eléctrica y la instalación en sitio.

Los costos referenciales se puede observar en la Tabla 4, en función del requerimiento del volumen diario y altura de impulsión, la misma está en relación con el número de paneles solares indicados en la Tabla No.3.

Tabla 4. Bomba solar. Costos directos referenciales (Bs)

Altura impulsión manométrica (m)	Volumen de producción (m3/día)			
	5	10	15	20
25	45 800	56 200	58 000	79 500
45	53 000	69 700	96 000	127 000
65	59 500	93 000	121 900	

Los costos, incluye Paneles solares, Controlador para bomba de agua, bomba de agua sumergible, soporte metálico para paneles, accesorios para interconexión de

paneles solares, accesorios de conexión eléctrica, no incluye la mano de obra de la instalación y el transporte, dependerá de la ubicación solicitada.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para el mantenimiento, las actividades se reducen a la inspección de los paneles solares, comprobando que los mismos estén intactos y evitar la proyección de sombra, inspección visual de los cables, comprobando que estén intactos, inspección visual del nivel del agua del pozo el mismo que deberá estar al menos 1,0 metro por encima de la bomba, inspección visual de las tuberías de impulsión.

El funcionamiento del sistema es sencillo y directamente mediante un switch de palanca o un botón de encendido (ON) y otro para apagado (OFF), todo el sistema es automatizado.

Para las correcciones de un fallo se recomienda desconectar la bomba. Si un panel está dañado sustituir el mismo.

Tabla 5. Actividades Principales de Operación y Mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Control de caudal de ingreso	Revisar caudal afluente al tanque.
Arranque inicial	Para el arranque inicial de una bomba nueva se debe realizar a medio día y preferentemente cuando se tenga una radiación constante.
Arranque normal:	Colocar el interruptor principal en la posición de "ON", Si la radiación esta disponible el motor comenzara a girar cuando la sobretensión moderada de mas o menos de 7 Hz y comenzará a girar. Si la radiación en el panel es suficiente, tendrá lugar una aceleración controlada de la bomba hasta 25 Hz.
Registro de Información	En el libro de registro, anotar el valor de los caudales.
Fallas de funcionamiento	El mal estado de las conexiones eléctricas, causado por la suciedad, la humedad terminales o enchufes corroídos. Deformaciones en el bloque y/o filtro de la bomba. Mal funcionamiento de la válvula de pie o ingreso de aire en la línea de succión. Perdidas de agua por el sello de la bomba o en las tuberías.
Mantenimiento rutinario	Realizar inspecciones preventivas en forma periódica al menos cada año. Si se presentase una insuficiencia de la fuente de agua, el problema puede resolverse cambiando la bomba para menor capacidad o mediante regulación de la llave de paso. Si se detecta un mal funcionamiento del sistema, se deberá proceder a una revisión inmediata o comunicarse con el proveedor. Limpiar la cara superior de los paneles para remover el polvo, tierra u otros materiales, mediante un paño suave impregnado con poco de agua. Materiales más persistentes pueden requerir el uso de una solución de detergente suave. La mayoría de las bombas sumergibles de energía solar, una vez instalados no requieren de mantenimiento de parte del usuario, pero eventualmente técnicos especializados pueden realizar el mantenimiento. El tablero de control una vez instalado no requiere un control estricto, sin embargo es conveniente verificar que la tapa de vidrio no este rota o tenga fisuras y que todas las conexiones de cables se mantengan en buen estado.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Mantenimiento mínimo.</p> <p>Mayor tiempo de vida, mas de 20 años Confiable.</p> <p>Funcionamiento automático.</p> <p>Se aumenta la potencia mediante la incorporación de nuevos paneles.</p> <p>Portátil.</p> <p>Instalación en zonas rurales remotas.</p> <p>Instalación en zonas donde no existe energía eléctrica.</p> <p>Competitivo con la eólica, en zonas donde no se cuenta con velocidades de vientos requeridos.</p> <p>Buena altura de impulsión.</p>	<p>Inversión inicial alto.</p> <p>Producción de agua dependiente de la luminosidad del sol.</p> <p>Producción de volumen de agua reducido Mano de obra especializada para el mantenimiento.</p> <p>Los paneles pueden dañarse por el granizo.</p> <p>El tiempo nublado y los días cortos reducen la producción de energía</p>

Referencias:

EE.RR.:UNIVERSIDAD JAEN EE.RR.: Energía Fotovoltaica,Sistemas Fotovoltaicos para Bombeo de Agua

COOPERATIVA DE TEXAS EXTENSION, EL SISTEMA UNIVERSITARIO TEXAS A&M, 2004

ASVI DEPARTAMENTAL / JICA

KYOCERA

ECOSOLAR, 2009

Enersol, Bolivia

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS

ANEXO 1



Foto 1.1 Socamani – Oruro incluye tanque de ferrocemento Proyecto JICA



Foto 1.2 Sora Lupirana Municipio Corocoro - La Paz Proyecto JICA

M.1		Bomba manual YAKU		Aplicable a: Sistema 3	M.1
Nivel de empleo +++ Rural concentrada +++ Rural dispersa +++ Periurbana		Nivel de administración ++ Familia +++ Familia + Familia		Entrada producto: <input type="checkbox"/> Agua	
				Salida del producto: <input type="checkbox"/> Agua	
Aplicable a zona: +++ Altiplano		+++ Valles		+++ Llanos	

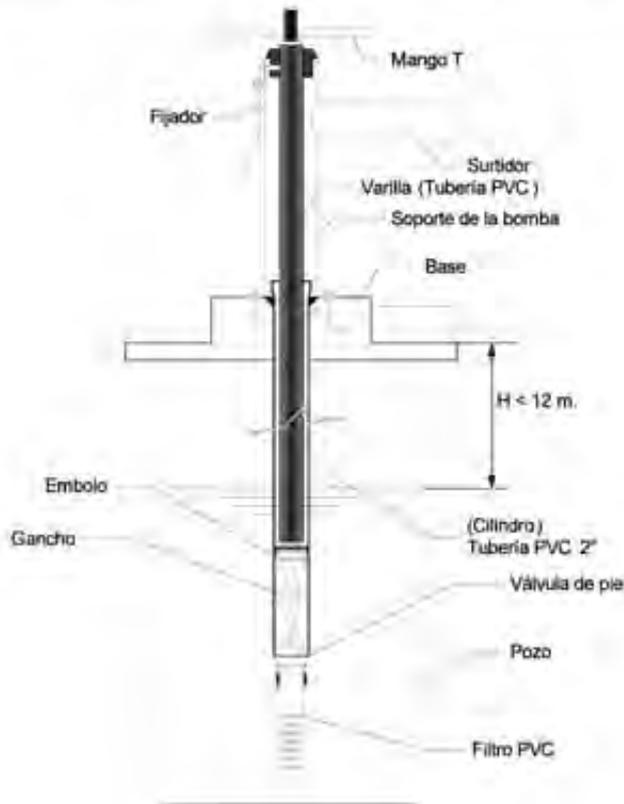


Fig. 1 Corte de la bomba Yaku

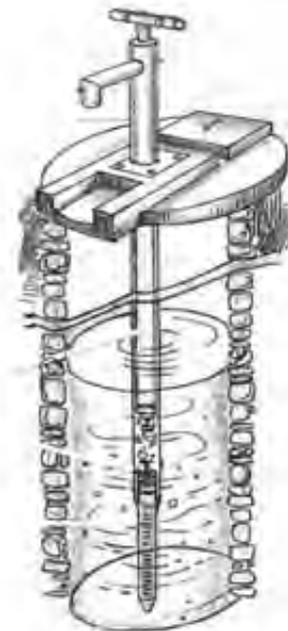


Fig. 2 Isométrico de la instalación

DESCRIPCIÓN

La bomba manual YAKU, es una tecnología simple, permite extraer agua de pozos excavados y pozos perforados de poca profundidad, el agua es recogida en la boca de pozo. La bomba es de acción directa, la fuerza humana es la que permite la operación, es similar a un inflador, por lo que la extracción de agua es discontinua. La altura de instalación de la bomba máxima es a 12 m, del nivel dinámico a la superficie del terreno, esta es la altura mas cómoda para el accionamiento de un niño(a).

La estructura de la bomba está compuesto principalmente por: Soporte, mango, embolo, cilindro con filtro y válvula de pie cuerpo de la bomba, pistón, válvulas de retención y soporte rígido.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

La Bomba manual YAKU, es una opción para su aplicación en diferentes zonas ya sea rural dispersa, rural concentrada, periurbana o en general donde las condiciones no sean favorables, para el abastecimiento de agua con tecnología convencional,

es apta para una familia o grupo de familias concentradas, se acomoda a un pozo excavado o perforado con diámetro mínimo de 3”.

En el país, desde muchos años atrás, se han instalado en muchos lugares este tipo de bombas, con resultados favorables, por la durabilidad de este equipo.

CRITERIOS DE DISEÑO

La capacidad de bombeo y altura de impulsión recomendado por el fabricante, se muestra en la Tabla No. 1.

Tabla No. 1 Características técnicas de la bomba Yaku

Diámetro mínimo del pozo (pulg.)	Altura de instalación máxima en pozo (m)	Caudal de bombeo (L/min)
3	12	40 - 60

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Los materiales empleados en su construcción son de tuberías de PVC, varilla Ø 1”, SDR 21, F.G., plancha metálica, válvula de pie, cuero, pieza torneada del embolo, ganchos galvanizados, todo el trabajo es manual.

Tabla 2. Bomba manual Yaku. Costos Directos Referenciales (Bs)

Largo de la bomba (m)	5	7	10	12
Costo en bolivianos	1 900	2 100	2 300	2 450

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Esta tecnología tiene el concepto BOMPO (Bomba de Operación y Mantenimiento a Nivel de Poblado), fácil mantenimiento por un responsable del poblado, fabricación local para garantizar repuestos, fortaleza y fiabilidad en las condiciones de funcionamiento sobre el terreno, buena relación costo – beneficio.

Para el mantenimiento no es necesario desarmar sus componentes originales, el diseño de la bomba permite extraer a la superficie tanto el embolo como la válvula de pie en una misma operación para su reacondicionamiento. Siendo estos los únicos componentes susceptibles a un mantenimiento periódico, cada 14 meses.

La vida útil promedio de la bomba es de más de 10 años, como se confirma en varias instalaciones de este tipo de bomba.

Tabla 3. Actividades Principales de Operación y Mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Operación	La operación es sencilla, la acción es de subir y bajar el mango, sujetando con firmeza y en forma vertical, para que el desgaste sea uniforme.
Verificación de caudal	Hacer el aforo, para verificar si existe perdidas.
Cambio de accesorios y/o piezas	La pieza que con frecuencia es cambiada es la empaquetadura del embolo, para esta labor se deberá desarmar la bomba.
Reparación de la infraestructura	Reparar daños en la base y soporte de la bomba.
Disminución de caudal	Cambiar las piezas dañadas o desgastados de la bomba.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Es una bomba robusta.</p> <p>No se produce emisiones a la atmosfera ni genera residuos.</p> <p>Se implementa donde se necesite (rural, periurbano, urbano).</p> <p>No requiere energía.</p> <p>Fabricación local.</p> <p>Operación y mantenimiento sencillo.</p> <p>Costo inicial moderado.</p> <p>Construcción rápida.</p> <p>Producción de agua elevada, es apto para dotar al ganado, requiere de poco esfuerzo físico.</p> <p>Existen talleres de fabricación en el país.</p>	<p>La producción de agua es discontinua.</p> <p>La producción de agua se detiene cuando deja de ser accionada.</p> <p>Poca profundidad de instalación.</p> <p>Pocos talleres de fabricación en el país.</p> <p>Costo inicial alto.</p>

Referencias:

SUMAJ HUASI, *Para una vivienda Saludable*, 2010

Taller de fabricación SATA La Paz, tel 2862002,71943053

Taller de fabricación UMA, La Paz, cel. 71907293

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PUBLICAS VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BASICOS, *Operación y Mantenimiento de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento, para poblaciones menores a 10.000 habitantes.*

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS

Anexo 1



Foto 1.1 Bomba manual Yaku – La Paz

M.2	Bomba manual AYNI	Aplicable a: Sistema 3	M.2
Nivel de empleo +++ Rural concentrada +++ Rural dispersa +++ Periurbana	Nivel de administración +++ Familia +++ Familia +++ Familia	Entrada producto: <input type="checkbox"/> Agua	
		Salida del producto: <input type="checkbox"/> Agua	
Aplicable a zona: +++ Altiplano +++ Valles +++ Llanos			

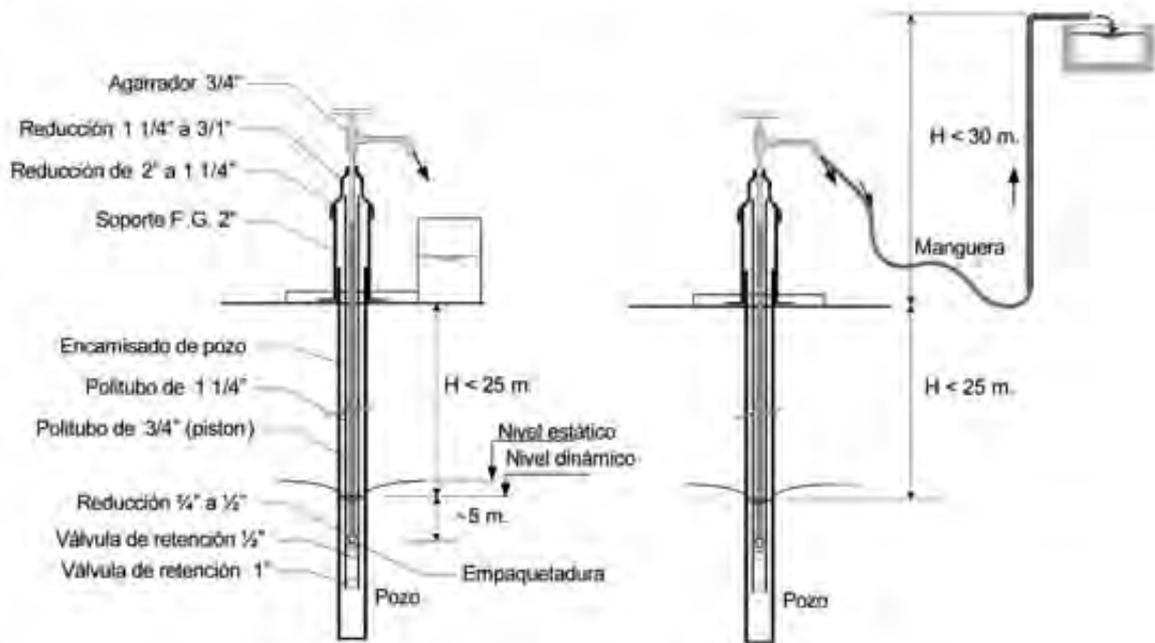


Fig. 1 Bomba manual Ayni Directa

Fig. 2 Bomba manual Ayni de elevación

DESCRIPCIÓN

La bomba manual Ayni, es una tecnología simple, permite extraer agua de pozos excavados y pozos perforados profundos de pequeño diámetro, el agua es recolectada en la boca de pozo (Fig. 1) ó también puede elevar a un depósito de agua. La bomba es de acción directa, la fuerza humana es la que permite la operación, es similar a un inflador, por lo que la extracción de agua es discontinua. La altura de instalación de la bomba mas recomendable es no mayor a 25 m, del nivel dinámico a la superficie del terreno, esta es la altura mas cómoda para el accionamiento de un(a) niño(a).

La estructura de la bomba está compuesto principalmente por: Un agarrador, cuerpo de la bomba, pistón, válvulas de retención y soporte rígido.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

La Bomba manual “AYNI”, es una opción para su aplicación en diferentes zonas ya sea rural dispersa, rural concentrada, periurbana o en general donde las condiciones no sean favorables, para el abastecimiento de agua con tecnología convencional, es apta para una familia o grupo de familias concentradas.

En el país, desde muchos años atrás, se han instalado en muchos lugares este tipo de bombas, ejecutados por personas privadas capacitadas, como también por ONGs, como Sumaj Huasi, ASVI / Jica

Asimismo la elevación permite aprovechar cualquier tratamiento del agua, para lograr un agua segura, mediante filtros de arena u otro, como se muestra en la Fig. 3.

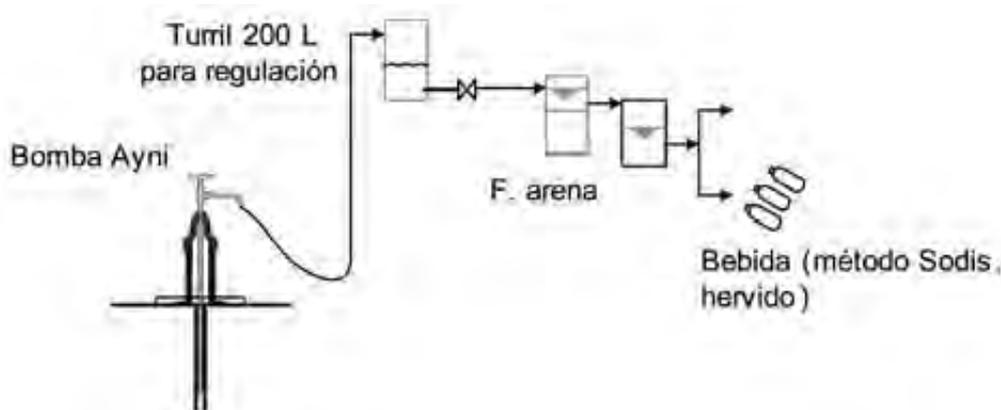


Fig. 3. Instalación para mejoramiento del agua

CRITERIOS DE DISEÑO

La capacidad de bombeo y altura de impulsión recomendados por el fabricante, se muestra en la Tabla 1, que nos permite elegir a la necesidad del usuario.

Tabla No. 1 Características técnicas de la bomba Ayni

Modelo bomba manual	Características	Diámetro mín. del pozo (pulg.)	Altura de instalación máxima en pozo (m)	Impulsión desde el terreno a depósito (m)	Caudal de bombeo (L/min)
Ayni	Directa	2	25	30	20
Ayni	Elevación	2	25	35	20 - 25

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

El agarrador es de FG de $\frac{3}{4}$ ”, un pistón que puede ser de polietileno (politubo) de $\frac{3}{4}$ ” o tubos de PVC E – 40 de $\frac{3}{4}$ ”, a la cual se sujeta, una válvula de retención tipo check de $\frac{1}{2}$ ” fabricado con accesorios de PVC mediante una reducción de FG de $\frac{3}{4}$ ” a $\frac{1}{2}$ ”, esta válvula lleva un empaque de goma (mejor si la goma tiene hilos).

El cuerpo de la bomba puede ser de polietileno (politubo) de 1 $\frac{1}{4}$ ” o tubos de PVC E-40 de 1 $\frac{1}{2}$ ” a la cual se sujeta otro tubo con una unión, la válvula de pie de retención de bronce de 1”, está sujeta mediante presión.

El pistón está sujeto al agarrador de la bomba mediante una unión enroscable, la cual está dentro del cuerpo de la bomba sujeta por una reducción en cupla de 1 $\frac{1}{4}$ ” a 1” en caso de que fuese el cuerpo de la bomba de PVC la reducción será de 1 $\frac{1}{2}$ ” a 1”.

Tabla 2. Bomba manual Ayni. Costos Directos Referenciales (Bs)

Largo de la bomba (m)	5	7	10	15	20	25
Costo en bolivianos	500	750	800	900	1200	1300

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Esta tecnología tiene el concepto BOMPO (Bomba de Operación y Mantenimiento a Nivel de Poblado), fácil mantenimiento por un responsable del poblado, fabricación local para garantizar repuestos, fortaleza y fiabilidad en las condiciones de funcionamiento sobre el terreno, buena relación costo – beneficio.

Es una bomba que funciona como un inflador (la acción del agarrador es de arriba hacia abajo). La piezas que requiere mayor mantenimiento, siguiendo un orden correlativo es la empaquetadura de la válvula de pistón, la válvula de pistón, la válvula de pie. Se deberá cambiar el empaque de goma cada vez que disminuya la presión de la bomba que está en función del uso de la bomba, que puede ser cada seis meses, cada uno o dos años.

La vida útil promedio de la bomba está en función del tipo de material que se utiliza y el número de usuarios, tiene un promedio de 6 años.

Tabla 3. Actividades Principales de Operación y Mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Operación	La operación es sencilla, la acción es subir y bajar el mango, sujetando con firmeza y en forma vertical, para que el desgaste sea uniforme.
Verificación de caudal	Hacer el aforo, para verificar si existe pérdidas.
Cambio de accesorios y/o piezas	La pieza que con frecuencia es cambiada es la empaquetadura de válvula de pistón, como también puede haber daño en la válvula de retención.
Reparación de la infraestructura	Reparar daños en la base y soporte de la bomba.
Disminución de caudal	Cambiar las piezas dañadas o desgastados de la bomba.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Es una bomba que permite elevar a una buena altura.</p> <p>Si el acuífero es de buena calidad, este tipo de bomba no provoca contaminación.</p> <p>No produce emisiones a la atmosfera ni genera residuos.</p> <p>Se implementa donde se necesite (rural, periurbano, urbano).</p> <p>No requiere energía.</p> <p>Operación y mantenimiento sencillo.</p> <p>Costo inicial bajo.</p> <p>Construcción rápida.</p>	<p>Producción de agua limitada (poco caudal), requiere de esfuerzo físico, por lo que es cansador cuando se extrae mucha agua.</p> <p>La producción de agua es discontinua.</p> <p>Para elevar a alturas mayores a lo recomendado, requiere mucho esfuerzo.</p> <p>Por ser de fabricación artesanal, no siempre es controlado en su calidad.</p> <p>Bomba no robusta.</p> <p>Para la elevación a tanque requiere de una manguera, generalmente es frágil o no es permanente.</p> <p>Solo es apto para el consumo domestico. Para el uso de higiene personal como una ducha, en el caso de las zonas cálidas, requiere de mayor esfuerzo para elevar a un tanque.</p>

* Esta fue desarrollado inicialmente, con el nombre de EMAS y Flexi/OPS, posteriormente por la OPS/OMS y mejorado por Sumaj Huasi, toma el nombre de Ayni.

Referencias:

SUMAJ HUASI, *Para una vivienda Saludable*, 2 010

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PUBLICAS VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BASICOS, *Operación y Mantenimiento de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento, para poblaciones menores a 10 000 habitantes.*

JICA, *Proyecto "Agua es salud y vida Fase 2 (ASVI), Guía perforación manual de pozos*, 2 009

ANEXOS

Anexo 1



Foto 1.1 Colocación de la bomba



1.2 Accionamiento de la bomba

M.4		Bomba manual Wara		Aplicable a: Sistema 3		M.4	
Nivel de empleo		Nivel de administración		Entrada producto: Agua			
+++ Rural concentrada		+++ Familia / Junta E. u otro		Salida del producto: Agua			
+++ Rural dispersa		+++ Familia					
+++ Periurbana		+++ Familia / Junta E. u otro					
Aplicable a zona:				+++ Alliplano		+++ Valles	
						+++ Llanos	

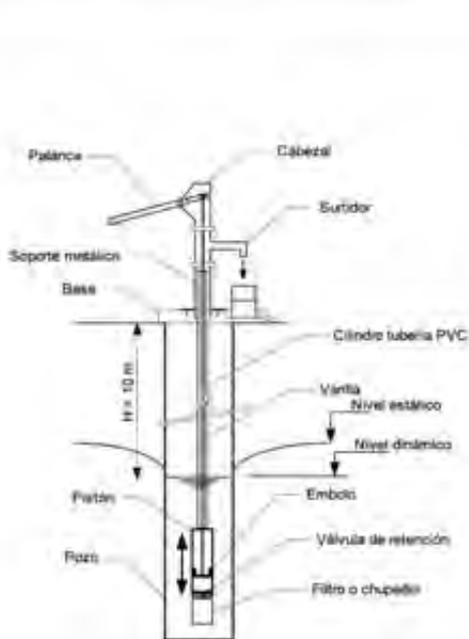


Fig. 1. Bomba Wara directa

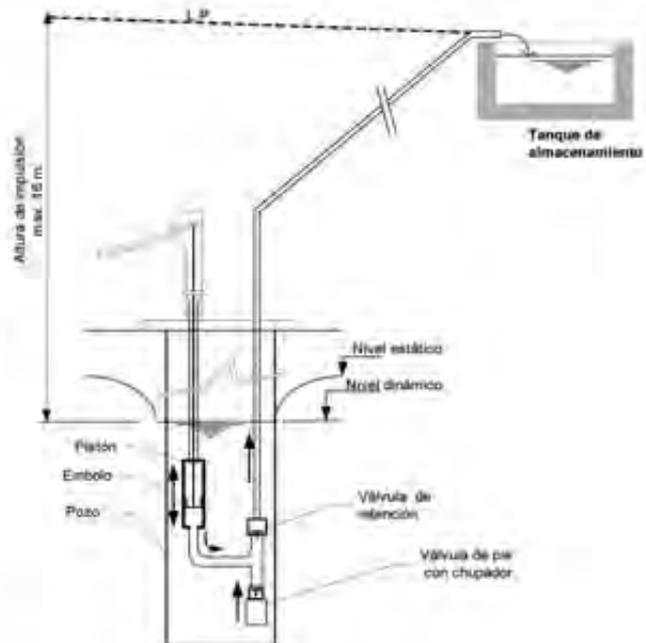


Fig. 2. Bomba Wara indirecta

CARACTERÍSTICAS

La bomba manual Wara, es una tecnología simple, permite extraer agua de pozos excavados y pozos perforados profundos, el agua es recogida en la boca de pozo o también puede elevar a un depósito de agua. La fuerza humana es la que permite la operación, es aspirante e impelente, por lo que la extracción de agua es discontinua.

La bomba se puede instalar en pozos comunales o en pozos de uso familiar, excavados o perforados, en este último caso el diámetro mínimo deberá tener 4". La profundidad máxima a la que se instala estas bombas es 10 m Fig. 1. Una adaptación y mejoramiento de la bomba Wara directa es el de elevación Fig. 2, que permite impulsar una altura de 16 m del nivel dinámico, para este propósito se requiere un diámetro de pozo perforado mínimo de 6" o pozo excavado.

Esta bomba por el caudal de bombeo que ofrece es aprovechable también para otros usos como en la ganadería y riego, el caudal que impulsa es de 20 – 40 L/min, para su accionamiento no requiere de mucho esfuerzo, está diseñada para que un niño(a), pueda operar sin dificultad.

Esta tecnología es bastante difundida en Bolivia, con resultados satisfactorios.

DESCRIPCIÓN

La estructura de la bomba es bastante robusta, compone de un cabezal metálico, un surtidor, conexión de tuberías, pistón, cilindro de PVC, válvula de pie, varilla, cabezal, palanca de acción y base de hormigón para desagüe. La acción es de desplazamiento positivo de doble acción, de efecto simple, en cada carrera se desaloja un volumen de agua ocupado por el pistón, el cilindro tiene un diámetro de 2 ½” a 3”, y longitud de 50 cm. puede ser de bronce o PVC E-40, el pistón lleva dos empaques de cuero de fácil mantenimiento.

En el caso de la bomba Wara de elevación, su accionamiento es semejante, para la impulsión requiere de otra tubería paralela, donde se instala una válvula de retención y válvula de pie con retención y filtro, esta forma permite evitar el retroceso de la carga de agua, también puede ser usado con aguas con cierta turbiedad, para este caso las válvulas son de abertura mayor y de goma como válvula de retención.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

La Bomba manual “Wara”, Fig. 1 y 2 es una opción para su aplicación en diferentes zonas ya sea rural dispersa, rural concentrada, periurbana o en general donde las condiciones no sean favorables para el abastecimiento de agua con tecnología convencional, es apta para una familia o grupo de familias concentradas, escuelas y otros. La bomba Wara de elevación permite impulsar a un tanque de almacenamiento, como se muestra en la Fig. 2, y aprovechar para distintos usos, como baños escolares con arrastre de agua, duchas familiares o para extraer agua de un tanque enterrado. Asimismo la elevación permite aprovechar cualquier tratamiento del agua, para lograr un agua segura, mediante filtros de arena u otro como se muestra en la Fig. 3.

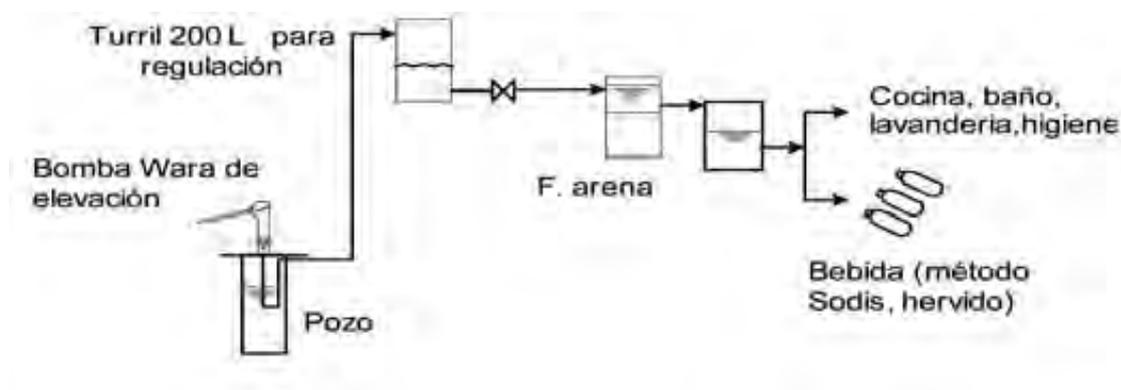


Fig. 3. Instalación para mejoramiento del agua

CRITERIOS DE DISEÑO:

La capacidad de bombeo y altura de impulsión recomendados por el fabricante, se indica en la tabla 1.

Tabla 1.- Características de la bomba

Modelo bomba manual	Características	Diámetro mín. del pozo (pulg.)	Altura de instalación máxima en pozo (m)	Impulsión desde el terreno a depósito (m)	Caudal de bombeo (L/min.)
Wara 1	Directa	3	10	0	15-25
Wara 2	Indirecta	6	10	6	40 -60

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS:

La bomba Wara esta compuesto principalmente de un pistón, puede ser de bronce o de PVC E-40, donde se aloja el embolo que es generalmente un empaque de cuero, este embolo está conectado a la varilla, que llega al cabezal. Por debajo del embolo se encuentra una válvula retención de pie con filtro. Presenta también una tubería de PVC como camisa, donde circula el agua para salir al exterior mediante el surtidor, la estructura de soporte y la palanca de acción es metálica y, la base de hormigón simple, ver Foto 1.

Con el propósito de evitar contaminación del agua con el ambiente exterior, se puede confinar el agua con la construcción de una cúpula de ferrocemento, apoyado en la pared del cilindro, como encamisado de protección una tubería de PVC de 4", que servirá para la extraer todo el cuerpo de bomba y realizar su mantenimiento, por encima de la cúpula se rellena con el material extraído del pozo ver Anexo 1, Fig.1.1.

Para la bomba Wara de elevación es similar, excepto en la instalación de una válvula de retención ubicado en la línea de salida. La tubería de impulsión puede ser de PVC de 1 ½", que conecta a un tanque de almacenamiento, Fig. 2.

Tabla 2. Bomba Wara. Costos Directos Referenciales (Bs)

Bomba Wara directa

Largo bomba (m)	5	7	10
Costo en Bs.	1 140	2 140	2 200

Bomba Wara de elevación

Largo bomba (m)	5	7	10
Costo en Bs.	3 360	3 480	3 600

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO:

Esta tecnología tiene el concepto BOMPO (Bomba de Operación y Mantenimiento a Nivel de Poblado), fácil mantenimiento por un responsable del poblado, fabricación local para garantizar repuestos, fortaleza y fiabilidad en las condiciones de funcionamiento sobre el terreno, buena relación costo – beneficio a mediano plazo.

Tabla 3. Actividades principales de Operación y mantenimiento

Actividad	Acciones claves
Recolección del agua	Colocar el recipiente, en la base o tapa del pozo ubicando debajo del surtidor de salida, accionar la palanca hasta lograr la cantidad de agua requerida, el procedimiento por su sencillez no requiere mas acciones. El agua por no estar expuesta a la intemperie no es susceptible a congelamiento.
Tratamiento	Para consumo de la cocina e ingesta, deberá usar un filtro casero de arena u otro. Para beber hacer hervir el agua o usar el método SODIS, para otros usos no potables puede usar sin tratamiento.
Prevención	Revisar el área cercana al pozo, para identificar posibles fuentes de contaminación: como ser letrinas, agua estancada etc., limpiar la tapa y su drenaje, verificar el caudal de salida para constatar el desgaste del empaque.
Revisión mecánica	Normalmente se tiene desgaste del empaque de cuero y de los empaques de goma, es recomendable su mantenimiento cada 6 meses.
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Desarmar el cabezal, sacando los pernos del cabezal, suspender el cabezal y sujetar la varilla del embolo con prensa. Girar el cabezal y sacarlo. - Desarmar la varilla de embolo y las tuberías. - Sacar las tuberías. - Sacar el pistón el embolo y su válvula. - Abrir el pistón, cambie el empaque de cuero si está dañado. - Asegurar las partes que conectan y forman el cilindro, colocar el cilindro de acuerdo a la altura recomendada.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Fabricación local.</p> <p>Operación y mantenimiento sencillo.</p> <p>No requiere energía.</p> <p>Esfuerzo físico menor.</p> <p>Buen caudal de impulsión.</p> <p>Se puede impulsar a un tanque elevado, con plena seguridad, para uso de ducha etc.</p> <p>Se implementa donde se necesite (rural, periurbano, urbano).</p> <p>Estructura robusta.</p> <p>Vida útil de la bomba más de 25 años.</p> <p>Menor riesgo de contaminación exterior.</p>	<p>Costo inicial elevado.</p>

REFERENCIAS:

Taller de fabricación SATA La Paz, telf.286202, cel 71943053
e-sata@hotmail.com
<http://www.actiweb.es/e-sata/>

Taller de fabricación UMA, La Paz, cel. 71907293

Taller CAMMEL, Oruro

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS

Anexo 1

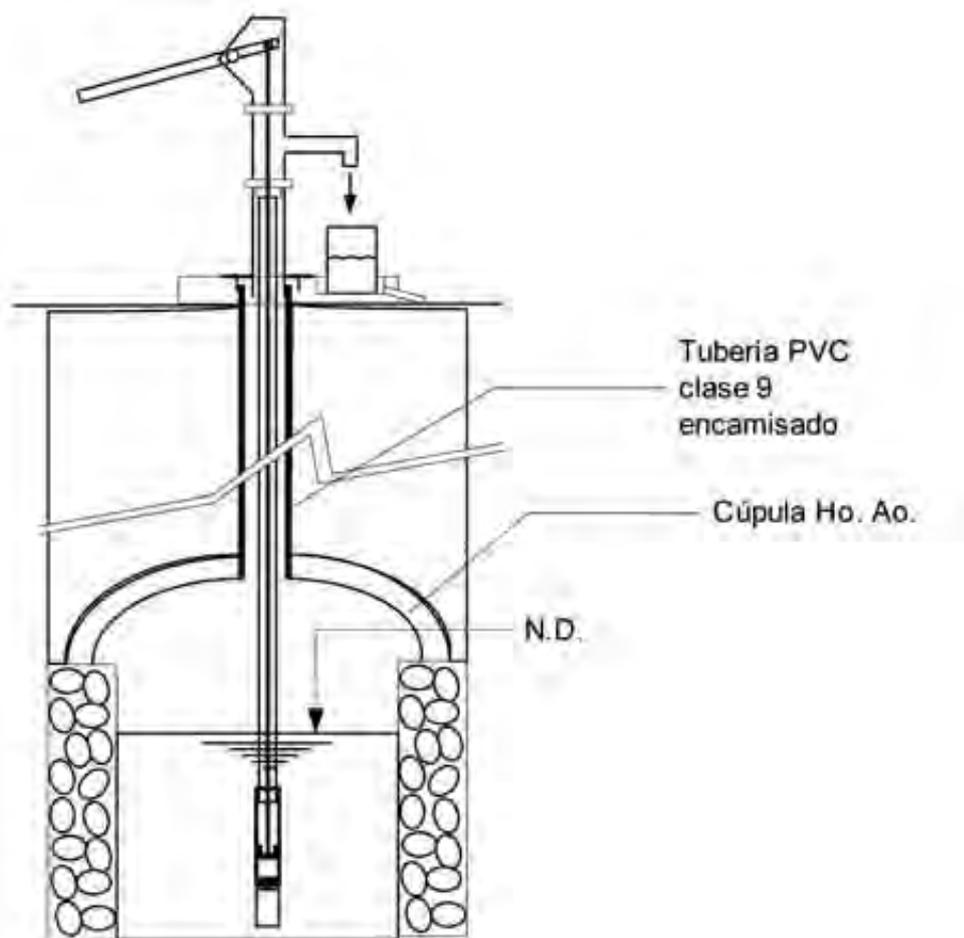


Fig. 1.1 Bomba manual Wara con pozo confinado

Anexo 2



Foto 2.1. Bomba Wara directa



Foto 2.2. Bomba Wara de elevación
Comunidad: Tambillo-módulo lechero



Foto 2.3 Bomba Wara Localidad Kasillunca, Caquiaviri, La Paz

M.3	Bomba manual Rosario	Aplicable a: Sistema 3	M.3
Nivel de empleo (+++) Rural concentrada (+++) Rural dispersa (+++) Periurbana		Nivel de administración (+++) Familia / Junta E. u otro (+++) Familia (+++) Familia / Junta E. u otro	
		Entrada producto : <input type="checkbox"/>	Agua
		Salida del producto : <input type="checkbox"/>	Agua
Aplicable a zona: (+++) Altiplano (+++) Valles (+++) Llanos			

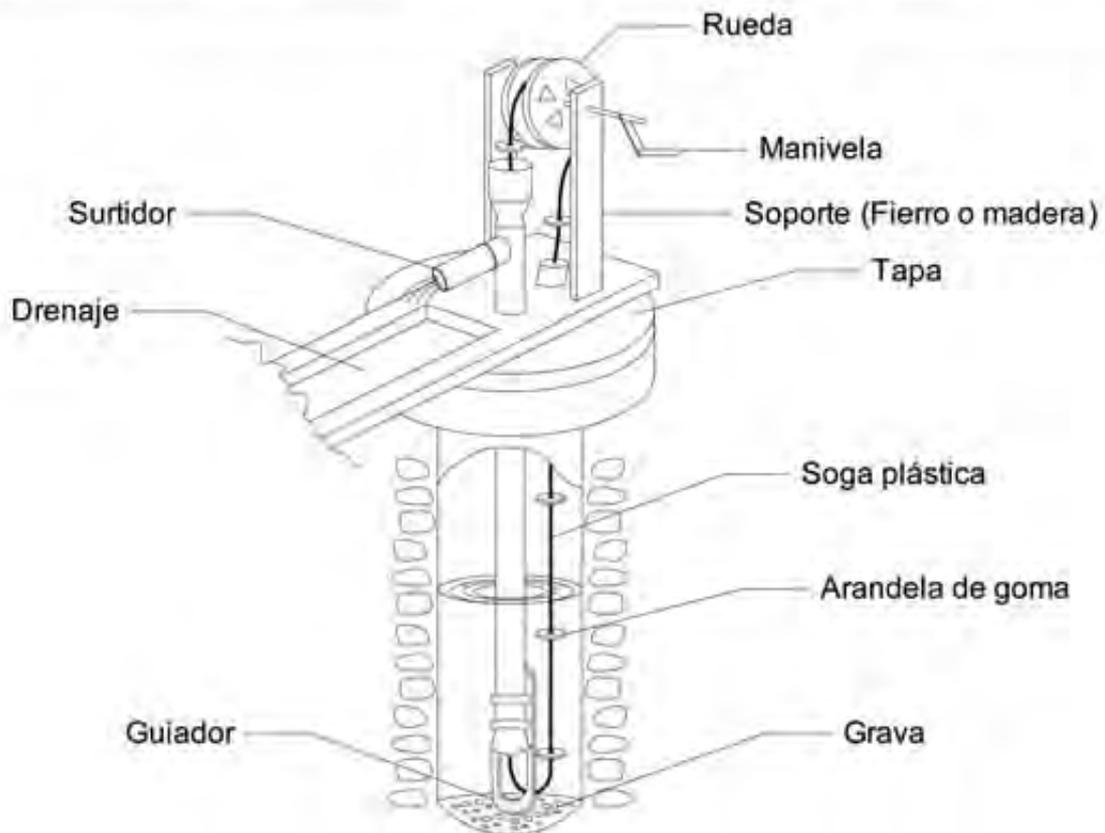


Fig.1 Esquema. Bomba manual Rosario

CARACTERÍSTICAS

La bomba manual Rosario o denominado también Soga, es una tecnología simple, permite extraer agua de pozos excavados u otra fuente hasta la superficie o nivel deseado, con un mínimo de esfuerzo físico. La bomba de Soga constituye un circuito cerrado entre la fuente de agua y la superficie o nivel deseado, mediante una soga sin-fin en la que se disponen arandelas (arandelas) de goma u otro material, a intervalos determinados, elevando porciones continuas de agua.

La bomba se puede instalar en pozos comunales o en pozos de uso familiar, excavados o perforados, en este último caso el diámetro mínimo deberá tener 4". La profundidad máxima a que se instala estas bombas es a 40 m, con diseños especiales se puede llegar hasta 80 m. Esta bomba por el caudal de bombeo que ofrece es aprovechable para usos en la ganadería, riego y para consumo humano, para este efecto requiere de un tratamiento simple, como los filtros caseros.

Esta bomba se puede adaptar para ser accionada con bicicletas, molinos de viento, motores, la instalación puede ser en forma vertical o inclinada con dos ruedas Fig. 2.

Los elementos que componen la bomba son una soga sin fin, con arandelas moldeados cónicamente y dispuestos (anudados a la cuerda) a intervalos de 20 a 30 cm. La soga con arandelas es impulsado por una polea, de tal manera que eleva el agua a la superficie a través del tubo de PVC. La polea es una rueda tipo bicicleta, se ancla sobre un piso fijo, que cubre la superficie del pozo y que dispone además de dos agujeros donde se anclan tubos de PVC, por donde baja y sube la soga.

Como polea se utiliza el aro de una bicicleta que es accionada por una manivela, esta puede ser construida soldando tres tubos en ángulo recto. Las arandelas se fabrican en polietileno y deben tener una tolerancia mínima en el tubo de bombeo para evitar pérdidas en el fluido a bombear. La soga con las arandelas da la vuelta en el fondo del pozo por medio de una guía, a ser posible de vidrio para reducir la fricción en este punto. Es vital que la soga este alineado con los tubos de entrada y salida así con la guía para evitar rozamientos e incluso atascos.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

La Bomba manual “Rosario”, es una opción para su aplicación en diferentes zonas ya sea rural dispersa, rural concentrada, periurbana o en general donde las condiciones no sean favorables, para el abastecimiento de agua con tecnología convencional, es apta para una familia o grupo de familias concentradas, el pozo puede ser excavado o perforado permite conseguir mayor caudales que las otras alternativas de bombas manuales, generalmente es usada para riego y consumo de animales. Para uso de consumo humano es obligatorio el tratamiento, mediante filtros caseros, u otro, tomando en cuenta que la bomba no esta protegida y es un medio de contaminación, cuando entra en contacto con el medio ambiente.

También puede elevar a una altura definida con la instalación de otra polea adicional ver Fig. 2.

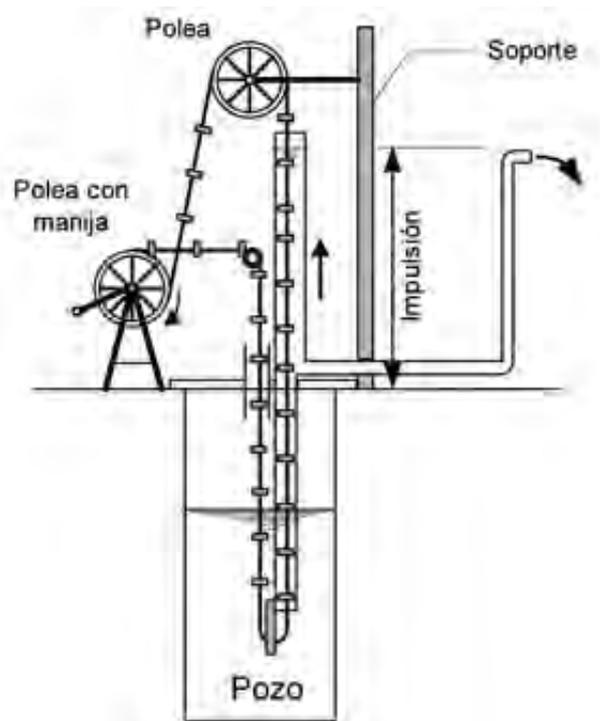


Figura 2. Bomba con elevación

En el país se han instalado estas bombas, desde varios años atrás en las distintas regiones, ejecutados por varias instituciones gubernamentales.

CRITERIOS DE DISEÑO

La capacidad de bombeo y altura de impulsión se muestra en la Tabla 1

Tabla 1. Características de la bomba

Profundidad del pozo (m)	10	20	30	50	70
Caudal (L/min)	40	20	14	8	5
Tubo de bombeo (pulg.)	2	1 1/2	1	3/4	1/2"
Diámetro mín. pozo (pulg.)	5	4	4	4	4

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Los arandelas pueden ser hechos con goma de neumáticos de auto, de cuero o de madera. El mejor resultado se logra al hacerlos por inyección de polietileno de alta densidad ya que es posible controlar mejor sus dimensiones.

La soga que se usa debe tener de 5 a 6 mm de diámetro, el material puede ser nylon, ésta es fuerte pero tiende a deslizarse. Las sogas de polipropileno dan mejor resultado, esta soga es recomendable hasta una profundidad de pozo menor a 35 m, a mayor profundidad de pozo debe utilizarse diámetro de soga mayor a 6 mm. El tubo es PVC E-40, La polea, esta compuesto por un aro de bicicleta en desuso o fabricado expresamente, unida a una barra unida al pasador o al propio cuadro delantero de la bicicleta.

Tabla 2. Bomba Rosario. Costos Directos Referenciales (Bs)

Largo de la bomba (m)	5	7	10	15	20	25	30
Costo en Bs.	1 200	1 300	1 300	1 500	1 600	1 700	1 900

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO:

Esta tecnología tiene el concepto BOMPO (Bomba de Operación y Mantenimiento a Nivel de Poblado), fácil mantenimiento por un responsable del poblado, fabricación local para garantizar repuestos, fortaleza y fiabilidad en las condiciones de funcionamiento sobre el terreno, buena relación costo – beneficio.

Tabla 3. Actividades principales de Operación y Mantenimiento

Actividad	Acciones claves
Recolección del agua	Colocar el recipiente, en la base o tapa del pozo ubicando debajo del tubo de salida, girar la manivela en dirección tal que las anillas de goma salgan del tubo de PVC, conectado al surtidor.
Tratamiento	Para consumo de la cocina e ingesta, deberá usar un filtro casero de arena u otro. Para beber hacer hervir el agua o usar el método SODIS. Para otros usos no potables puede usar sin tratamiento.
Prevención	Revisar el área cercana al pozo, para identificar posibles fuentes de contaminación: como ser letrinas, agua estancada etc.. Verificar el desgaste de la soga y las arandelas (anillas), si está uniforme. Verificar el caudal de bombeo y comparar con el de inicio.
Revisión mecánica	Engrasar el eje de giro de la polea y ajustar los pernos.
Mantenimiento	Aflojar los tornillos y pernos del soporte en que está fijado el eje de la polea, sacar la misma, retirar la soga gastada o rota y verificar el estado de las anillas, preparar una nueva soga plástica con los anillos de goma para evitar desarmar toda la bomba. Armar la bomba colocando la polea.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>No se producen emisiones a la atmosfera ni genera residuos.</p> <p>De fácil implementación, donde se necesita. (rural, periurbano).</p> <p>No requiere energía.</p> <p>Fabricación local.</p> <p>Operación y mantenimiento sencillo.</p> <p>Costo inicial bajo.</p> <p>Construcción rápida.</p> <p>Se extrae a profundidades grandes, pero requiere esfuerzo mayor.</p> <p>Buena producción de agua.</p>	<p>Es susceptible a contaminación.</p> <p>Mayor a 30 m. se requiere mayor esfuerzo.</p> <p>Consistencia débil.</p> <p>Mayor frecuencia en cambio de las anillas de goma.</p> <p>Requiere tratamiento para lograr agua segura.</p>

Referencias:

MINISTERIO DE VIVIENDA Y SERVICIOS BASICOS, *Reglamento de Diseño de Proyectos de Agua Potable para poblaciones menores a 5 000 Habitantes*, 1 999.

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PUBLICAS VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BASICOS, *Operación y Mantenimiento de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento, para poblaciones menores a 10 000 habitantes*, 2 004.

Guía Latinoamericana del Agua, OPS-OMS, *Bomba Manual Mecate*, 2 009

M.5		Bomba manual EMAS FLEXI		Aplicable a:		Sistema 3		M.5	
Nivel de empleo		Nivel de administración		Entrada producto :		<input type="checkbox"/> Agua			
<input type="checkbox"/> Rural concentrada		<input type="checkbox"/> Familia		Salida del producto :		<input type="checkbox"/> Agua			
<input type="checkbox"/> Rural dispersa		<input type="checkbox"/> Familia							
<input type="checkbox"/> Periurbana		<input type="checkbox"/> Familia							
Aplicable a zona:			<input type="checkbox"/> Altiplano		<input type="checkbox"/> Valles		<input type="checkbox"/> Llanos		

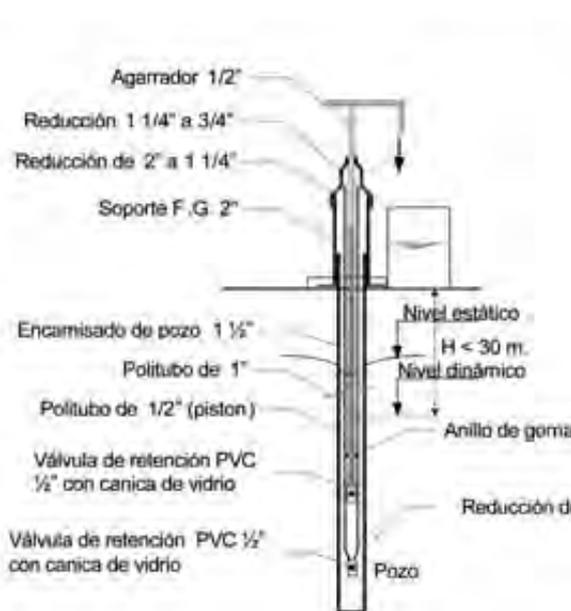


Fig. 1 Bomba manual Directa

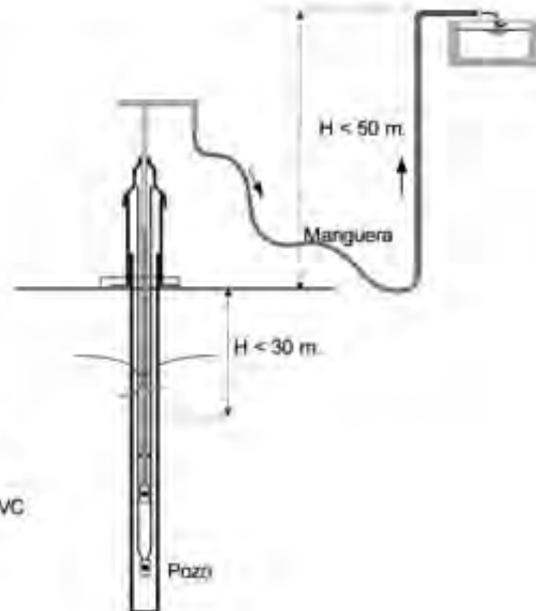


Fig. 2 Bomba manual de elevación

DESCRIPCIÓN

La bomba manual EMAS FLEXI, es una tecnología simple, permite extraer agua de pozos excavados y pozos perforados profundos de pequeño diámetro, el agua es recogida en la boca de pozo Fig. 1 ó también puede elevar a un depósito de agua Fig. 2. La bomba es de acción directa, la fuerza humana es la que permite la operación, es similar a un inflador, por lo que la extracción de agua es discontinua. La altura de instalación de la bomba mas recomendable es no mayor a 30 m, del nivel dinámico a la superficie del terreno, esta es la altura más cómoda para el accionamiento de un(a) niño(a).

La estructura de la bomba está compuesto principalmente por: Un agarrador, cuerpo de la bomba, pistón, válvulas de retención de PVC y soporte rígido.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

La Bomba manual “EMAS FLEXI”, es una opción para su aplicación en diferentes zonas ya sea rural dispersa, rural concentrada, periurbana o en general donde las condiciones no sean favorables, para el abastecimiento de agua con tecnología convencional, es apta para una familia o grupo de familias concentradas.

Asimismo la elevación permite aprovechar cualquier tratamiento del agua, para lograr un agua segura, mediante filtros de arena, u otro como se muestra en la Fig. 3.

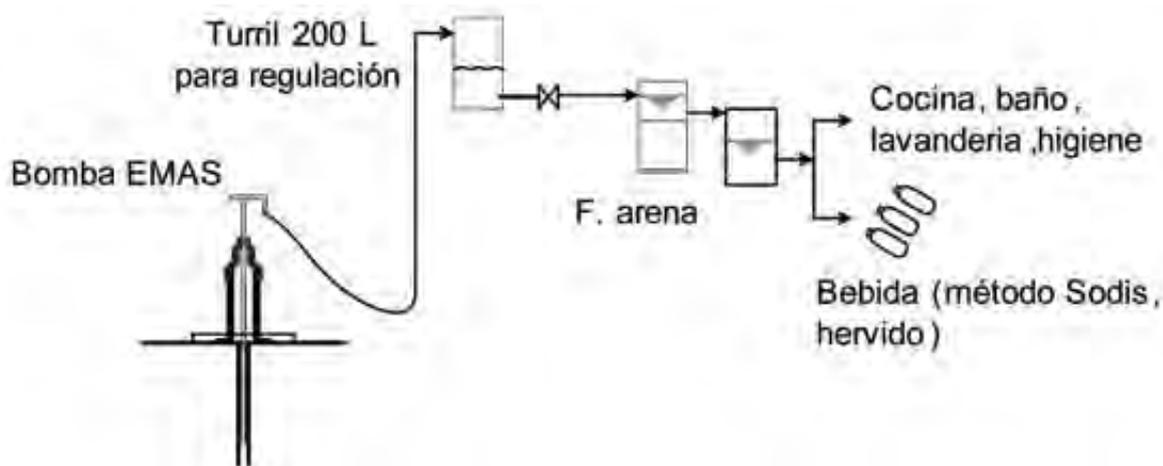


Fig. 3. Instalación para mejoramiento del agua

CRITERIOS DE DISEÑO

La capacidad de bombeo y altura de impulsión recomendados por el fabricante, se muestra en la Tabla 1, que nos permite elegir, a la necesidad del usuario.

Tabla No. 1 Características técnicas de la bomba EMAS FLEXI

Modelo bomba manual	Características	Diámetro mín. del pozo (pulg.)	Altura de instalación máxima en pozo (m)	Impulsión desde el terreno a depósito (m)	Caudal de bombeo (L/min)
EMAS FLEXI	Directa	1 ½"	30	50	15 - 30
EMAS FLEXI	Con elevación	2	25	35	20 - 25

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

El agarrador es de FG de 1/2", un pistón que puede ser de polietileno (politubo) de ½" a la cual se sujeta, una válvula de retención de ½" fabricado con accesorios de PVC. Esta pieza es fabricado localmente, utilizando un niple de PVC E-40 de ¾" donde se introduce una canica de vidrio, que hace de tapón.

El cuerpo de la bomba puede ser de polietileno (politubo) de Ø 1" a la cual se sujeta otro tubo con una unión, la válvula de pie de similar fabricación, está sujeta mediante presión.

El pistón está sujeto al agarrador de la bomba mediante una unión enroscable, la cual está dentro del cuerpo de la bomba sujeta por una reducción en cupla de Ø 1 ¼" a 1".

Tabla 2. Bomba manual EMAS FLEXI. Costos Directos Referenciales (Bs)

Largo de la bomba (m)	5	7	10	15	20	25
Costo en bolivianos	190	195	195	220	250	300

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Esta tecnología tiene el concepto BOMPO (Bomba de Operación y Mantenimiento a Nivel de Poblado), fácil mantenimiento por un responsable del poblado, fabricación local para garantizar repuestos, fortaleza y fiabilidad en las condiciones de funcionamiento sobre el terreno, buena relación costo – beneficio.

Es una bomba que funciona como un inflador (la acción del agarrador es de arriba hacia abajo). La piezas que requiere mayor mantenimiento, siguiendo un orden correlativo es la empaquetadura de la válvula de pistón, la válvula de pistón, la válvula de pie. Se deberá cambiar el empaque de goma cada vez que disminuya la presión de la bomba, que está en función del uso de la bomba que puede ser cada seis meses, cada uno o dos años.

La vida útil promedio de la bomba está en función del tipo de material que se utiliza y el número de usuarios, (promedio de 3 a 6 años).

Tabla 3. Actividades Principales de Operación y Mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Operación	La operación es sencilla, la acción es de subir y bajar el mango, sujetando con firmeza y en forma vertical, para que el desgaste sea uniforme.
Verificación de caudal	Hacer el aforo, para verificar si existe pérdida.
Cambio de accesorios y/o piezas	La pieza que con frecuencia es cambiada es la empaquetadura de válvula de pistón, como también puede haber daño en la válvula de retención.
Reparación de la infraestructura	Reparar daños en la base y soporte de la bomba.
Disminución de caudal	Cambiar las piezas dañadas o desgastados de la bomba.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Es una bomba que permite elevar a una buena altura.</p> <p>Si el acuífero es de buena calidad, este tipo de bomba no provoca contaminación.</p> <p>No produce emisiones a la atmosfera ni genera residuos.</p> <p>Se implementa donde se necesite (rural, periurbano, urbano).</p> <p>No requiere energía.</p> <p>Operación y mantenimiento sencillo.</p> <p>Costo inicial bajo.</p> <p>Construcción rápida.</p> <p>Se extrae agua lo necesario, por lo que ayuda el uso racional del agua.</p>	<p>Producción de agua limitada (poco caudal), requiere de esfuerzo físico, por lo que es cansador cuando se extrae mucha agua.</p> <p>La producción de agua es discontinua.</p> <p>Para elevar a alturas mayores a lo recomendado, requiere mucho esfuerzo.</p> <p>Por ser de fabricación artesanal, no siempre es controlado en su calidad.</p> <p>Vida útil de 3 a 6 años</p> <p>Para la elevación a tanque requiere de una manguera, generalmente es frágil o no es permanente.</p> <p>Solo es apto para el consumo domestico, para el uso de higiene personal como una ducha, en el caso de las zonas cálidas, requiere de mayor esfuerzo para elevar a un tanque.</p>

Referencias:

SUMAJ HUASI, *Para una vivienda Saludable*, 2010

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PUBLICAS VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BASICOS, *Operación y Mantenimiento de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento, para poblaciones menores a 10 000 habitantes.*

EMAS. AGUA PARA TODOS , Wolfgang Buchner, 2007

www.emas-international.de

<http://vimeo.com/channels/emas>

emas@entelnet.bo

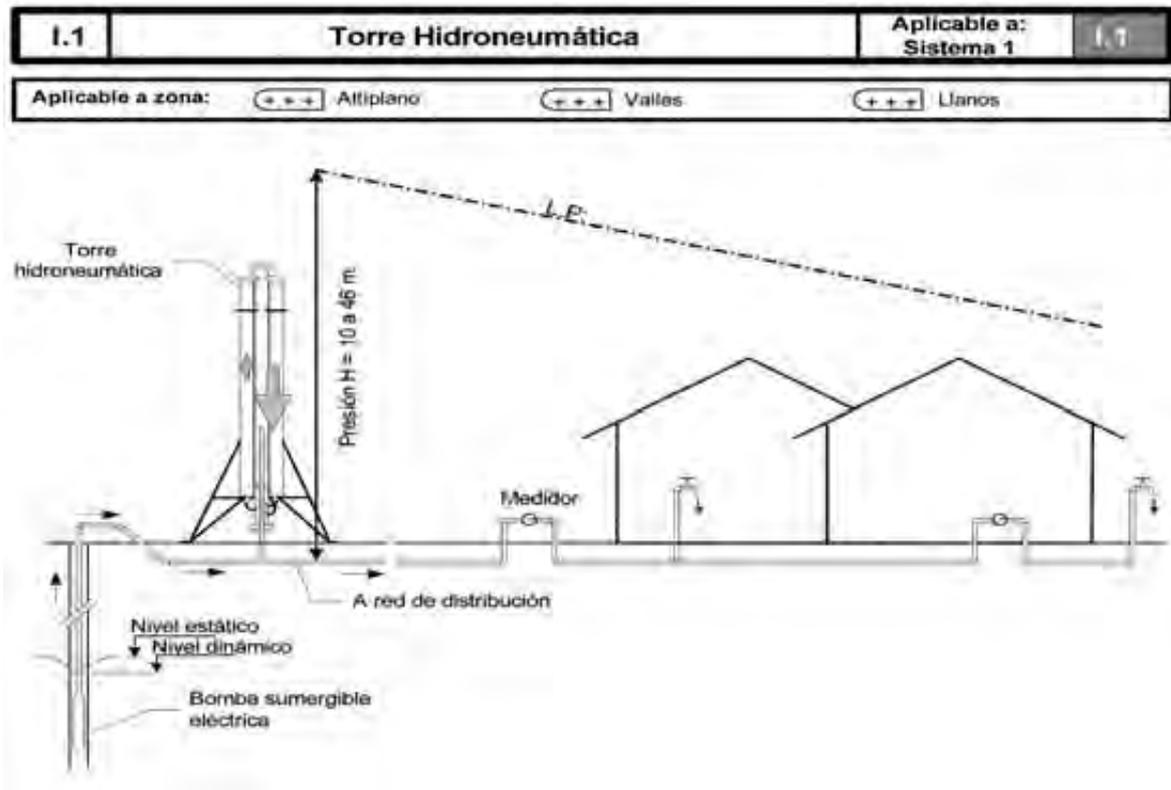


Fig. 1 Sistema de presurización con Torre Hidroneumática

DESCRIPCION

La Torre Hidroneumática, es una tecnología que permite presurizar el agua, de manera de mantener la presión de agua de una red, dentro de límites preestablecidos de manera continua y totalmente automática. La Torre Hidroneumática trabaja en combinación con una bomba eléctrica (sumergible o centrífuga). El funcionamiento de la bomba es automatizada, por efecto de la Torre Hidroneumática. Esta tecnología puede reemplazar al tanque elevado convencional, (de acuerdo a las condiciones locales), para barrios, condominios, comunidades, edificios, viviendas en general.

La Torre Hidroneumática, está conformado por uno o varios cilindros (dependiendo del modelo) de Acero galvanizado o PVC, que actúan como tanques almacenadores de agua a presión. Un sistema instrumental que detecta el estado de presión de la red y controla el funcionamiento de la bomba, trípode metálico y un conjunto de tuberías, válvulas y accesorios que hacen al conjunto.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para optar por esta tecnología debe cumplirse las condiciones siguientes: Debe existir energía eléctrica en el lugar, el caudal del pozo deberá ser igual o mayor al requerimiento de la población atendida (caudal máximo horario o picos de consumo), la red debe diseñarse para una presión no menor a 40 m.c.a. y las viviendas deben contar con micro medidores. Puede también interconectarse con otros sistemas similares como se muestra en la Fig. 2.

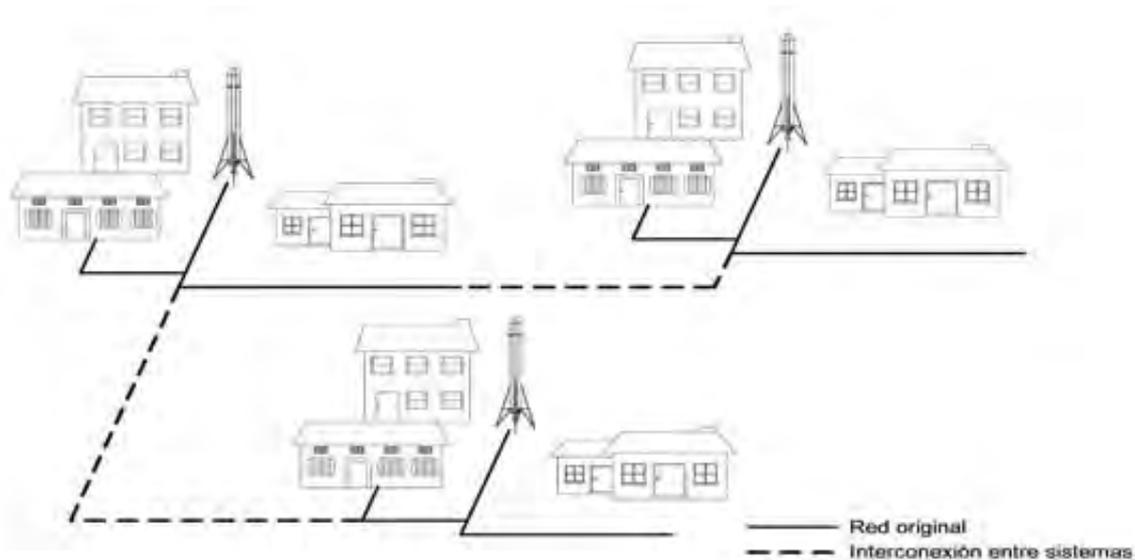


Fig. 2 Interconexión con otros sistemas similares

Si bien la Torre Hidroneumática comanda la bomba eléctrica. La torre misma no consume energía. Todo el consumo eléctrico es generado por la bomba exclusivamente. Un sistema de bombeo con Torre Hidroneumática consume la misma cantidad de energía que un sistema de bombeo con tanque elevado.

Se pueden utilizar tanto bombas centrífugas como sumergibles. Lo importante es que las bombas estén diseñadas para arranque y cortes seguidos. Las bombas europeas están recomendadas puesto que están diseñadas para arrancar y cortar hasta 60 veces por hora

En el país, especialmente en el Departamento de Cochabamba, se han instalado en muchos barrios de las zonas periurbanas, torres hidroneumáticas en sistemas de agua potable, con resultados satisfactorios, ver fotos 1,2,3,4, como ejemplo se puede mencionar, que en la zona de Molle Molle Central, el consumo de energía eléctrica de la bomba sumergible asciende a un promedio de 1 346 Bs por mes, para 267 conexiones domiciliarias (5,04 Bs/mes x conexión). Esta información permite comprender el funcionamiento y su costo de operación.

En el cuadro siguiente, se indica algunas zonas donde se aplicaron esta tecnología.

Departamento	Municipio	Localidad
Cochabamba	Cercado	Zona Molle Molle
Cochabamba	Cercado	Zona Challacaba
Cochabamba	Cercado	Zona Incacollo

CRITERIOS DE DISEÑO

La elección del modelo de la Torre hidroneumática, está en función de las características técnicas requeridas de diseño. En la tabla No. 1, se muestra los tres modelos que se fabrican.

Tabla 1. Características técnicas para la elección de la Torre Hidroneumática

Características técnicas	Modelo de Torre Hidroneumática		
	Mini	Clásica	4 cilindros
Caudal (L/s)	0 a 0,5	0 a 1,5	0 a 10
Presión (m.c.a.)	10 a 46	10 a 46	10 a 46
Potencia de la Bomba (HP)	0,3 a 1	0,3 a 2	0,3 a 15
Sistema de Agua P. (No. Viviendas)	< 25	25 a 100	100 a 700
Material cilindro amortiguador	PVC	Acero galv.	Acero galv. y PVC

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Las Torres Hidroneumáticas son equipos compactos. Compone de las siguientes partes:

Un cilindro amortiguador de PVC y de acero galvanizado, con reservorio de aire permanente o de reposición automática.

Protección externa apta para intemperie, e interna para uso sanitario.

Colectores de aspiración e impulsión de bombas totalmente en fierro galvanizado con válvulas esféricas de bronce cromado y válvulas de retención vertical de bronce.

Instrumental de control de presión con un campo de regulación de 10 a 46 m.c.a.

Trípode de montaje de todo el conjunto en estructura metálica con todos los componentes solidarios a la misma, formando un equipo monoblock.

Kit completo de accesorios para conexión a la red.

Cableado eléctrico completo entre tablero, motores e instrumentos.

El equipo es enviado a obra con posterior puesta en marcha del mismo y control de funcionamiento.

Los costos referenciales en bolivianos puesto en la ciudad de Cochabamba, se muestra en la Tabla No. 2, incluye todos los accesorios anteriormente indicados.

Tabla 2. Torres hidroneumáticas. Costos referenciales (Bs.)

Mini	Clásica	4 cilindros
10 000	15 000	20 000

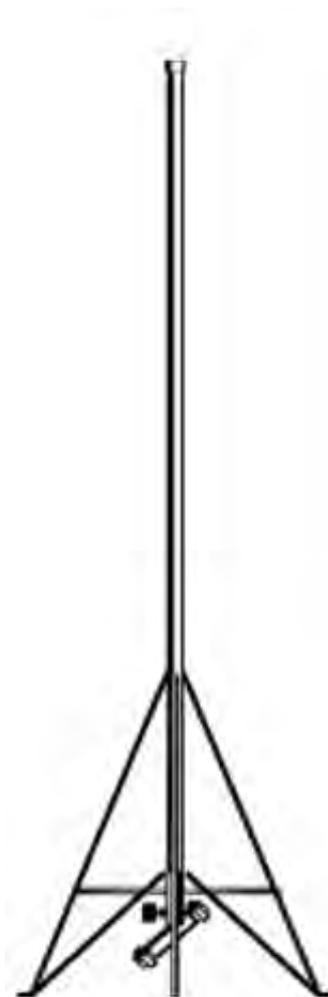


Fig.3 Torre Hidroneumática Mini

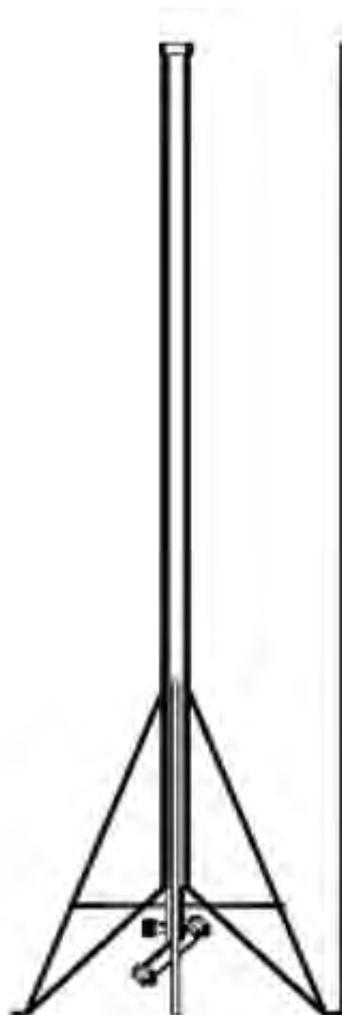


Fig. 4 Torre Hidroneumática Clásica

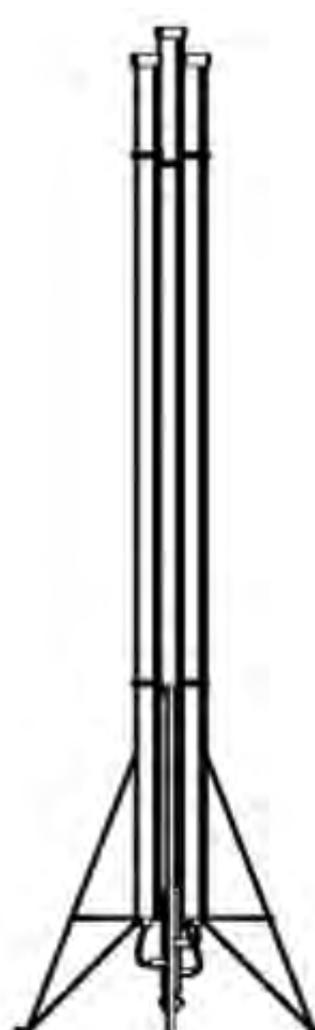


Fig. 5 Torre Hidroneumática 4 Cilindros

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Por la robustez de la parte estructural, diseñada para una vida útil de por lo menos 20 años, el mantenimiento se reduce al cambio del presostato cada 3 años, con un costo de 360 bolivianos. La operación es automática, no requiere de operador. Los manómetros existentes son de control y tiene dispositivos de presión con conexiones eléctricas, que permiten iniciar o cortar el funcionamiento de la bomba.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Costo menor respecto a la construcción de tanques elevados convencionales.</p> <p>La presión de trabajo puede ser regulada a requerimiento.</p> <p>Preserva la calidad del agua, ya que no es almacenada ni expuesta al medio ambiente.</p> <p>No requiere de personal que vigile su funcionamiento, por estar dotada de un equipo de control automatizado.</p> <p>Rápida instalación (aprox. 4 hrs.).</p> <p>Al ser un equipo totalmente automatizado, pueden interconectarse varias Torres Hidroneumáticas (varios pozos) a una red y sincronizar su funcionamiento.</p> <p>Sus componentes junto con el criterio constructivo hidráulico y eléctrico, resultan de mayor sencillez que otros sistemas.</p> <p>No lleva diafragmas ni elementos de goma, por tanto, el sistema no requiere de mantenimiento y su vida útil es mayor.</p> <p>Fabricación nacional.</p> <p>Espacio reducido para su instalación.</p>	<p>No se cuenta con un volumen de reserva en caso de corte de energía eléctrica.</p> <p>Mantenimiento correctivo por técnicos especializados.</p> <p>Está condicionado a la capacidad del pozo.</p> <p>El corte de energía interrumpe el servicio.</p> <p>La bomba sumergible por los encendidos frecuentes reduce moderadamente la vida útil de la bomba.</p> <p>Solo se puede emplear bombas de diseño, para arranque y cortes seguidos.</p> <p>Solo se emplea cuando se tiene micromedidores domiciliarios.</p> <p>La red de distribución no deberá tener fugas.</p>

Referencias:

Agua Tuya, *Agua Potable para Todos, Agua Tuya, 2004.*

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PUBLICAS VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BASICOS, *Operación y Mantenimiento de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento, para poblaciones menores a 10.000 habitantes, 2004.*

ANEXOS

Anexo Fotos



Foto 1. Torre Hidroneumática
4 cilindros
zona de Molle Molle – C.
Cochabamba



Foto 2. Torre Hidroneumática
Clásica
zona de Challacaba – C.
Cochabamba



Foto 3. Torre Hidroneumática Clásica



Foto 4. Torre Hidroneumática Mini
zona de Incacollo – Muyurina
Cochabamba

P.1	Tanque de ferrocemento	Aplicable a: Sistema 1-2-3	P.1
Aplicable a zona	+++ Altiplano	+++ Valles	+++ Llanos

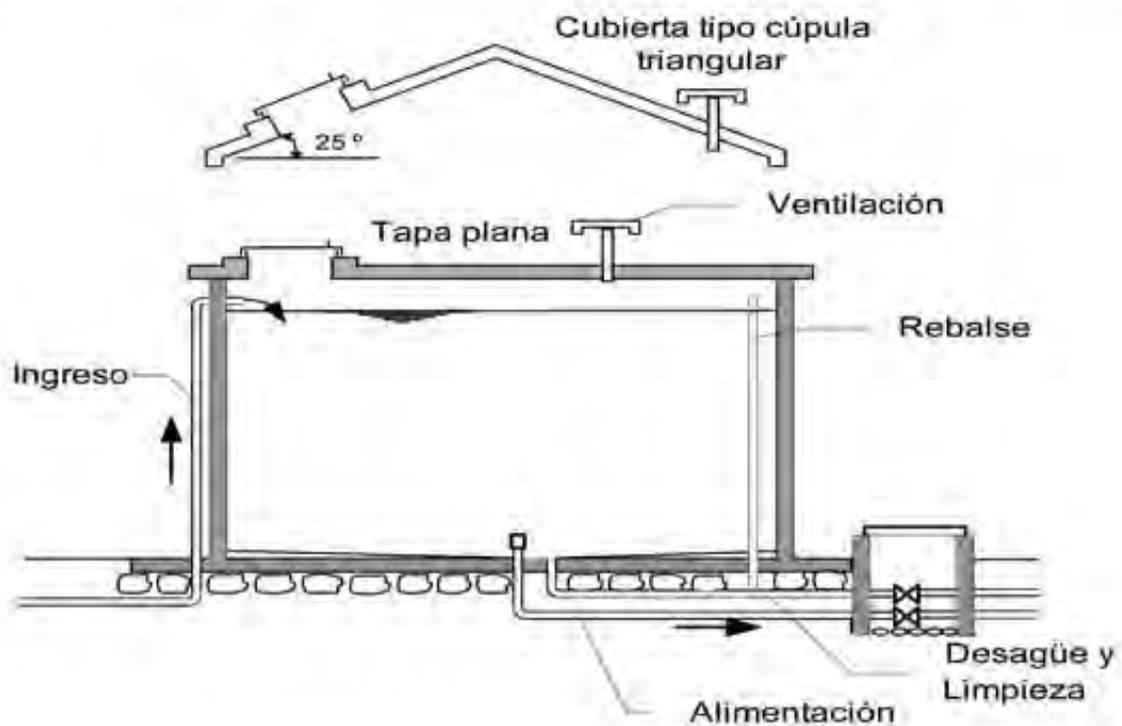


Fig. 1 Corte tanque de ferrocemento

DESCRIPCIÓN

El ferrocemento es un tipo de concreto armado, formado por mortero de arena y cemento reforzado, de pared delgada de 5 a 6 cm. Para el empastado manual con mortero se emplea cemento Portland corriente, la estructura metálica está formada con malla de alambre tejido y emparrillado de acero de diámetro pequeño, debidamente unido para lograr una estructura rígida. Es fácil de construir y en tiempo reducido.

Esta tecnología es bastante económica, se emplea para la construcción de tanques de almacenamiento de agua, filtros para plantas de tratamiento, silos, captaciones de aguas de lluvia, etc. es aplicable en zonas rurales, periurbanas y urbanas, en volúmenes pequeños, medianos y de gran capacidad, no requiere mano de obra muy calificada.

El tanque está formado por una losa de cimentación, cuerpo cilíndrico de mortero y tapa de la misma composición. El cuerpo estructural está conformado, por empastes de mortero de cemento en capas, alambre tejido y un emparrillado de acero de construcción de pequeño diámetro, unidos íntimamente. Los refuerzos principales son los anillos de acero, que trabajan como soporte a la tracción, permiten un cuerpo elástico y homogéneo, resistente a las fracturas. La estructura puede construirse por encima del terreno, como se muestra en la Fig. 1, o en forma enterrada o semi enterrada.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

La elección de esta tecnología es aplicable, para comunidades o grupo de viviendas o viviendas individuales, donde las condiciones económicas son limitadas, no se cuenta con materiales locales pétreos (piedra, grava) o su ubicación esta a mucha distancia, costos de transporte, reducida mano de obra, se cuenta con una fatiga admisible del terreno menor a 1,5 kg/cm² y participación de los propios usuarios. Muchas instituciones nacionales aplican esta tecnología, el cuadro siguiente se indica algunas:

Departamento	Municipio	Localidad
Oruro	Oruro	Socamani
Oruro	Toledo	Cari Cari
Oruro	Machacamarca	Carbuyo
Potosí	Betanzos	Mollehuaycu
Tarija	Tarija	Monte Sud
La Paz	Coro Coro	Janko Marca Sirpa
La Paz	Coro Coro	Sora Lupirana
La Paz	Caquiviri	Agua Rica
La Paz	Palca	Chocorosi
La Paz	Caquiaviri	Villa Anta
Chuquisaca	Machareti	El Salvador
Chuquisaca	Culpina	6 comunidades
Chuquisaca	Incahuasi	Incahuasi y 5 comunidades
Chuquisaca	San Lucas	Tambo Moqu, Chalchaqui

No se cuenta con registro oficial

CRITERIOS DE DISEÑO

El cálculo estructural está basado en las tensiones de esferas y cilindros sometidos a presión interior, en los cuales se producen esfuerzos normales en dos direcciones, las formulas recomendadas para los tanques de volúmenes más usuales de 5 a 20 m³ son las siguientes:

Refuerzo longitudinal simplificado en una franja:

$$A_s = 500 \cdot H \cdot D / f_y,$$

Donde

A_s : área del acero (cm²),

H : Altura del nivel máximo del agua (m),

D : Diámetro del tanque (m),

f_y : Fatiga de fluencia del acero (Kg/cm²).

De acuerdo a la norma Boliviana del Hormigón, se deberá tomar en cuenta el coeficiente de seguridad a las acciones, cuyo valor es de 1,6, por tanto el área de acero de cálculo es $A_c = 1,6 * A_s$.

Refuerzo mínimo recomendado $A_s \text{ min.} = 14 * b*d/f_y$, donde $A_s \text{ min.}$: acero (cm²), d: espesor de la pared del tanque (adoptada) (cm), b: ancho de referencia para distribución de los fierros (100 cm.).

Espesor de la pared $e = 0,814 * H * D$, donde e (cm), mayormente oscila entre 5 a 6 cm., por razones constructivas no debe ser menor de 6 cm, para tanques mayores a 8 m³.

Espesor tapa $e = 1,7450 * D$; puede ser cúpula triangular, tipo bóveda o plana. Para tanques mayores a 20 m³, con tapa plana, es recomendable rigidizar con columnas de hormigón armado, como se muestra en la Fig. 2 y 3.

Espesor losa fondo: $e = 1,7453 * D$, por razones constructivas se recomienda > 6 cm.

Armadura vertical = Para amarre se considera un espaciamiento de 20 a 25 cm. con fe \varnothing 6 mm.

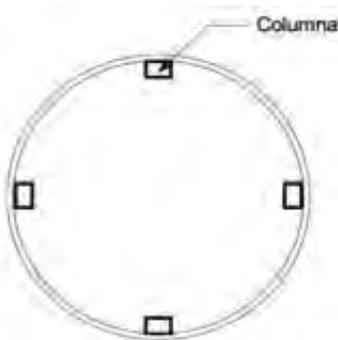


Fig. 2 Para tanques >20 y < 50 m³

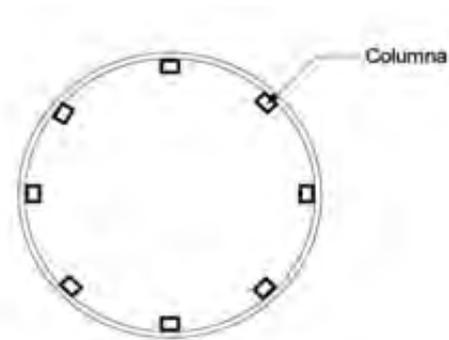


Fig. 3 Para tanques > 50 m³

Para el análisis y diseño estructural, es recomendable el uso del software Sap2000, que arrojará con mayor precisión los resultados finales; asimismo acompañar con el cumplimiento de la Norma Boliviana del Hormigón Armado.

En la Fig. 4,5,6,12,13 se muestra el armado típico del tanque de ferrocemento.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

El encofrado interior puede realizarse utilizando venesta, calamina o tablas, estas son sostenidas con listones de 2" x 3" en forma vertical (costillas), espaciados cada 50 cm., sujetos por vigas de 2" x 3", en forma diagonal (apuntalado) y apoyado en el pie a un poste central de 4" x 4" y al piso, que servirá también posteriormente para el armado de la cúpula, este encofrado puede ser realizado de acuerdo a la disponibilidad de material y experiencia del constructor.

Para las aplicaciones corrientes de ferrocemento, el mortero es dosificado con la relación: *arena / cemento* de 1:2,0 a 1:2,5, (en volumen) y la relación: *cemento / agua* como máximo 0,45 (en peso), dependiendo de la humedad de los agregados, la resistencia a la compresión deberá ser mayor a 250 Kg/cm², a los 28 días. El tamaño del agregado estará de 9.5 mm a 0,074 mm., Ver la Tabla 1, se recomienda

ver también la especificación ASTM, C33-86, el % la arena que pasa la malla No. 200, debe estar comprendido entre el 1% y 3%.

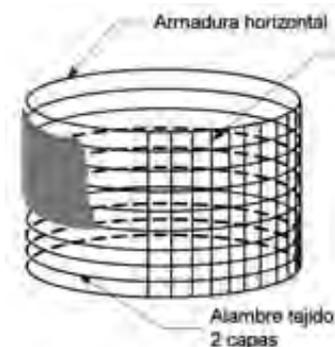


Fig. 4 Armaduras en la pared

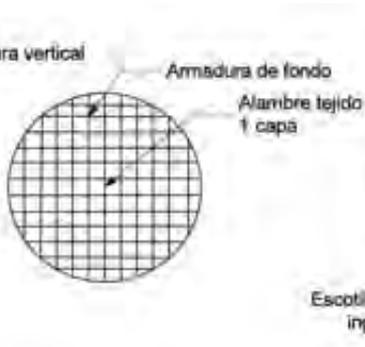


Fig. 5 Armadura de fondo

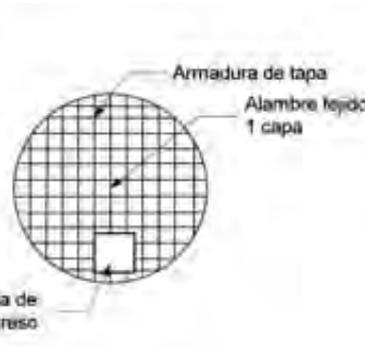


Fig. 6 Armadura tapa tipo cúpula

Tabla 1. Dosificación de mortero

Relación	Cemento	Arena (m3)
1:2	600	0,88
1:2,2	560	0,89
1:2,5	520	0,97

La armadura de losa de fondo y cubierta de cúpula puede ser armada también con enfierradura en forma radial, siendo la más cómoda la armada en dos direcciones.

Especificaciones de la arena:

La arena para el mortero de ferrocemento deberá cumplir las siguientes especificaciones principales:

La arena deberá estar compuesto, granos compactos y resistentes y de canto rodado y áspera.

La arena no debe contener sustancias o materiales orgánicos.

No contener demasiado fino

Libre de limos y arcillas

El módulo de fineza deberá estar entre 2,15 y 2,75.

El agua debe estar fresca y libre de cualquier solución orgánica, el agua salada no es aceptable.

Composición granulométrica límite recomendable ver la Tabla No. 2

Tabla 2. Granulometría ASTM

Tamiz ASTM (mm)	9,52	4,76	2,38	1,19	0,59	0,297	0,149	0,074
% que pasa	a 100	95 a 100	80 a 100	50 a 85	25 a 60	10 a 30	2 a 10	1 a 3

Granulometría practica para el campo:

Cuando no se tiene un laboratorio próximo para los análisis granulométrico; se recomienda los siguientes pasos, para lograr una granulometría optima:

Paso 1. Arena zarandeada: Utilice una zaranda de malla de gallinero (malla hexagonal), haciendo pasar la arena, a través de la misma.

Paso 2. Arena granulada: Para lograr esta arena, primeramente puede fabricarse un cernidor, que es un marco de madera de 0,50 x 0,50 m, con una base de calamina plana u otro material metálico, en esta base hacer orificios por todo lado con clavo de construcción de 4" de largo (4,25 mm de diámetro, aproximadamente al tamiz No. 4). Teniendo esta herramienta, la arena zarandeada obtenida del paso 1, es cernida nuevamente en el cernidor, la arena que pasa el cernidor es la que se usa como arena granulada para el mortero.

Paso 3. Arena fina: La arena que ha pasado por el cernidor, nuevamente es cernido en una malla milimétrica.

Paso 4. Lavado de arena: Las 2 partes conseguidas de arena granulada y arena fina, se debe lavar varias veces hasta conseguir, que el agua de lavado salga casi clara.

La parte de la arena granulada se puede lavar en un bote de cualquier material, y la arena fina en una tela tipo seda, hasta eliminar los limos existentes.

Paso 5. Mezcla de arenas: Hacer secar las arenas, luego mezclar en la proporción de **50 % de arena granulada y 50 % de arena fina**. Esta mezcla nos permite lograr una fineza aproximadamente entre 2,15 a 2,75.

Se debe aplicar más o menos de 1,5 a 2 cm. de mortero a la pared, asegurándose que pase a través de la malla de alambre hasta el encofrado interior, es muy importante que se complete las capas en un día.

Para lograr un mortero impermeable se puede utilizar el aditivo Sika 1, permite también la durabilidad de la estructura, de esta manera se logra mayor seguridad de la impermeabilización.

Un cronograma de las tareas, más comunes para un tanque de 10 m³ son las siguientes:

Construcción de la base, enfierradura y encofrado se realiza en el primer y segundo día.

Revoque exterior y acabado en el tercer día, desencofrado, acabado pared interior y curado pared exterior, en el cuarto día.

Llenado de tanque a tope para curado, desde el quinto día, durante 15 días posteriores y verificando la estanqueidad. Este curado es prioritario para la buena resistencia del mortero, existiendo también otras formas de curado, que se puede emplear.

Concluido la prueba de estanqueidad, se trabaja la tapa de ferrocemento y las otras partes componentes.

La pared interior es revocada con el mismo mortero con un espesor de 1,5 a 2,0 cm. Para mayor seguridad puede ser pintada con otros impermeabilizantes como el producto Sika Igol Denso e Igol Imprimante, después de realizado la prueba de estanqueidad.

Para la construcción de tanques de ferrocemento para zonas frías, con peligro de congelamiento, puede trabajarse en horarios donde la temperatura sea mayor, luego cubrir completamente con nylon, toda la estructura para evitar la pérdida de la humedad vientos, asolamiento y fraguado violento.

También se puede reemplazar el encofrado de madera, por tabique de ladrillo (6 h, gambote, adobito), en forma exterior, quedando la misma como un aislante térmico y trabajar internamente; este sistema permite proteger el clima severo, asimismo queda también como una estructura portante de la losa tapa. Durante el trabajo se puede cubrir con nylon, como techo de manera de evitar la pérdida de la humedad, o que provoca fisuras o ahogados, para el acabado final se revoca el tabique o puede ser visto si es de ladrillo gambote o adobito, ver Fig. 7, cumpliendo las tareas antes indicadas.

Tanques elevados, se puede trabajar en forma similar, en este caso se debe construir una losa superior de hormigón armado independiente, sobre esta losa y en forma similar a los tanques de ferro cemento con ladrillo para zonas frías, la estructura trabajará en forma independiente sin transmisión de esfuerzos, para este efecto se colocará un aislante (nylon) sobre la losa ver Fig. 8.

Con el fin de evitar congelamiento de los accesorios de desagüe y limpieza, como economizar las mismas, se puede adoptar constructivamente una copla de FG, y un tubo de PVC E-40 móvil, como se muestra en la Fig. 9. Para el desagüe del tanque solo es necesario desenroscar la misma, al nivel de piso y posteriormente enroscar de nuevo, se deberá considerar el curado permanente o llenado del tanque, una vez revocado la pared interior, puede ser auxiliado con una pequeña bomba de agua.

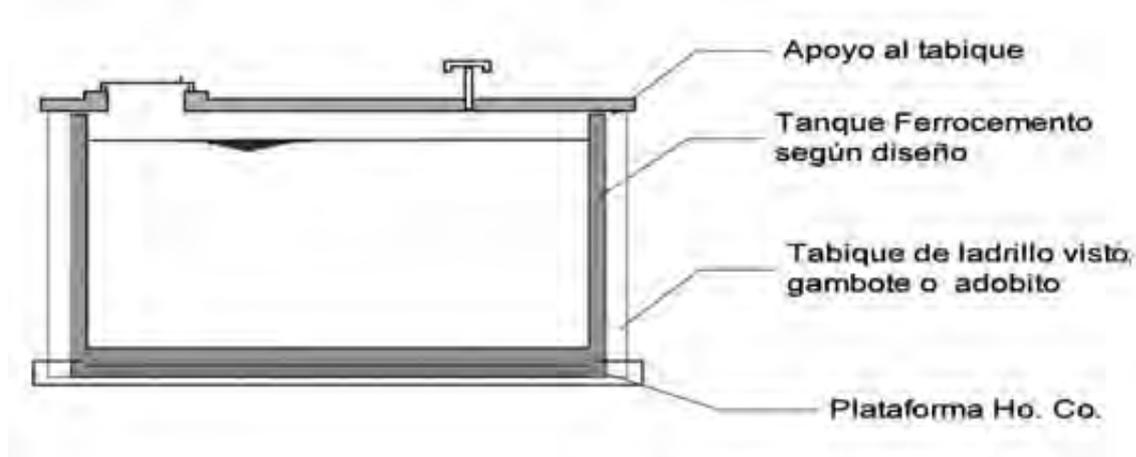


Fig. 7 Alternativa de tanque ferrocemento para zonas frías

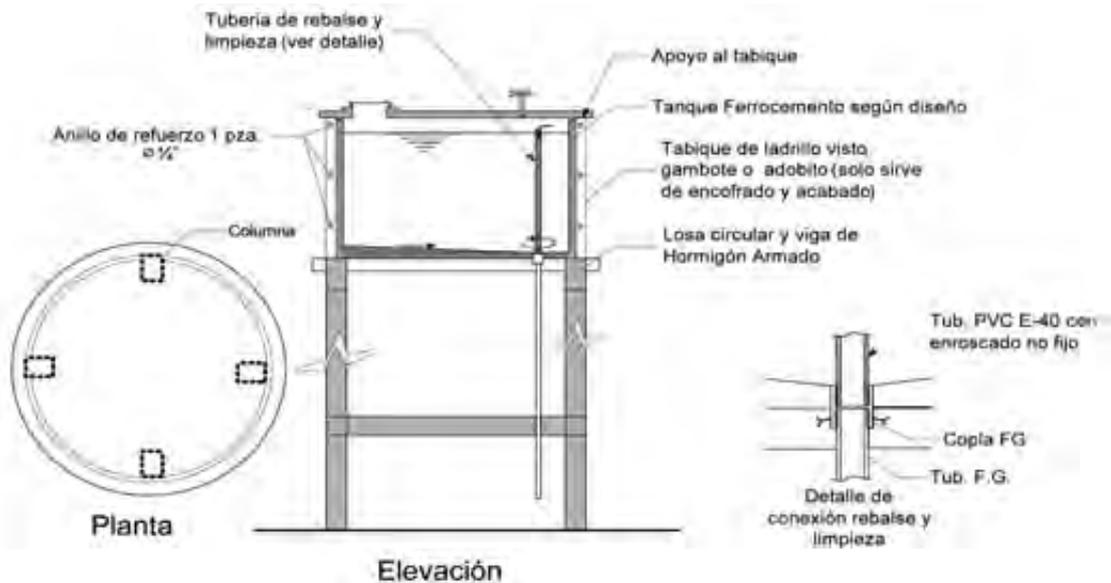


Fig. 8 Alternativa de tanque de ferrocemento para tanque elevado

Fig. 9 Detalle de conexión rebalse y limpieza

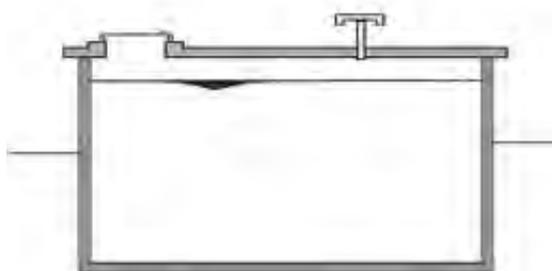


Fig. 10 Tanque semi enterrado

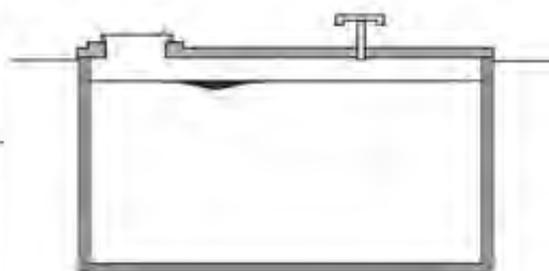


Fig. 11 Tanque enterrado

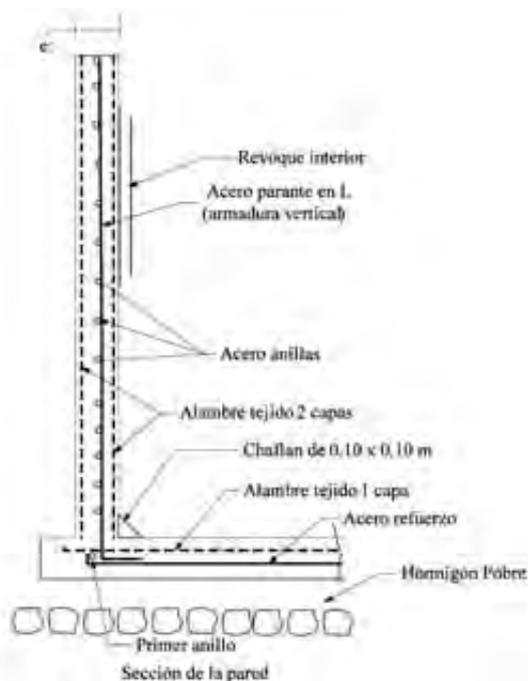


Fig. 12. Sección de la pared

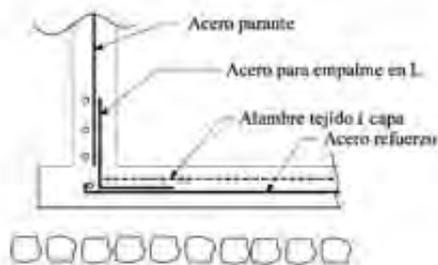


Fig. 13. Alternativa de empalme de parante y de acero en "L"

En la Tabla 3 se muestra los costos referenciales en bolivianos, para tanques de ferrocemento, no incluye los accesorios, los mismos, son idénticos para los tanques convencionales.

Tabla 3. Tanques de ferrocemento. Costos directos referenciales (Bs)

Volumen (m3)	8	10	12	15	18	20	25	30	40	50
Costo	7 690	8 900	10 150	11 400	14 300	15 200	18 400	26 000	31 800	38 000

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Tabla 4. Actividades Principales de Operación y Mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Revisión exterior	Verificar si existen exudaciones o fugas.
Corrección de exudaciones o filtraciones	Impermeabilizar con Sika Igol Denso e Igol Imprimante internamente.
Filtraciones en accesorios	Verificar el empotramiento de los accesorios, si existe filtraciones pintar con Sika Igol Denso e Igol Imprimante.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Costos de construcción ventajosas.</p> <p>Aplicable plenamente donde no se cuenta con materiales pétreos.</p> <p>Estructura liviana, provocan menor fatiga al terreno.</p> <p>Estructura simple, no requiere mucha especialización de la mano de obra.</p> <p>Son fáciles de reparar y mantener.</p> <p>Buena estética.</p> <p>El costo es de 40 a 50 %, más económica del convencional.</p> <p>El encofrado puede hacerse con materiales locales.</p> <p>Ocupa menor espacio que el convencional.</p> <p>Pueda adaptarse, para zona frías con paredes de ladrillo como encofrado o para tanques elevado.</p> <p>No requiere maquinaria o equipo.</p>	<p>Permanente control en el curado de la estructura.</p> <p>Mayor control en la relación de agua cemento para el mortero.</p> <p>Incidencia de cambios bruscos de temperatura.</p> <p>En zonas frías, donde no se trabaje con el revestimiento térmico como el ladrillo, requiere mayor cuidado.</p> <p>Los usuarios piensan que el espesor de la pared es muy delgado y pueden aumentar la misma, si no se tiene supervisión.</p> <p>Desconfianza por desconocimiento.</p> <p>En el país varias organizaciones trabajan con esta tecnología, pero aún no está difundida, solo es conocido por los profesionales del área, en un 20 %.</p>

Referencias:

Programa de Agua y Saneamiento PNUD, Ing. Carlos Ibarra S., "Tecnologías Apropriadas Diseño y Construcción de Tanques de Ferrocemento" año 1999

CEPIS, OPS, OMS; Fundamentos para la aplicación de ferrocemento año 2000

Universidad Nacional de Cajamarca Facultad de Ingeniería EPILAS (Escuela Piloto de Acreditación en agua y Saneamiento), año 2003

Proyecto de Saneamiento Básico de la Sierra Sur (SANBASUR), Perú, año 2007

*Capacitación Tecnologías Apropriadas Ex – Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias
Video construcción tanque ferrocemento.*

ADRA Bolivia, Uso de la Tecnología de Ferrocemento en Tanques de Almacenamiento de Sistemas de agua Potable.

Cinara, Filtración Lenta en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades

JICA –ASVI 2, Manual de Instalaciones y Operación T – F, Desarrollo de Tecnologías Alternativas, 2010.

ANEXOS

ANEXO 1. Detalles del proceso de construcción

Fotos, localidad de Chillcani, Municipio Poopo – Oruro



Foto1.1 Vaciado de losa de fondo



Foto 1.2 Concluida la losa de fondo



Foto 1.3. Armadura Vertical



Foto 1.4. Encofrado interior



Foto 1.5. Revoque exterior



Foto 1.6. Vaciado de tapa



Foto 1.7. Acabado exterior una vez finalizada la prueba de estanqueidad



Foto1.8. Acabado con cerco perimetral



Foto 1.9 TFC Localidad Janko Marca- Corocoro L.P.

P.2	Tanques prefabricados	Aplicable a: Sistema 1-2-3	P.2
Aplicable a zona: +++ Altiplano +++ Valles +++ Llanos			



FIG. 1. Tanque vertical

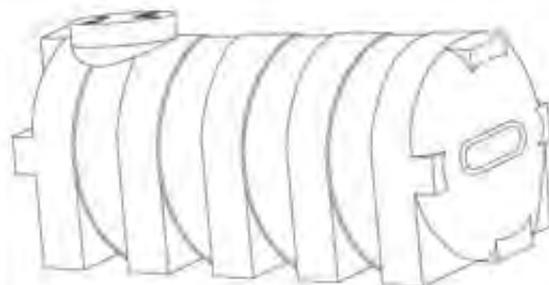


Fig. 2. Tanque horizontal/ cisterna

CARACTERÍSTICAS

El tanque de almacenamiento prefabricado, es una alternativa, que puede reemplazar a los tanques de almacenamiento convencionales, es empleado para el suministro de agua potable domiciliario o público, estos tanques se caracterizan por ser livianos, higiénicos resistentes, atóxicos, insípidos, generalmente tienen protección exterior para evitar el paso de rayos ultravioletas. Los materiales empleados son de fibra de vidrio, polietileno con materiales vírgenes. El montaje es sencillo, requiere solo una base o plataforma horizontal rígida.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Este material por su fácil instalación y rapidez puede ser implementado en sistemas de agua potable, para comunidades o grupo familiar o en casos de emergencia, también puede instalarse para tanques elevados, en este caso solo en volúmenes menores por la incomodidad y seguridad en su instalación, la garantía que ofrecen es de 35 años.

Estos productos son de fabricación nacional, los volúmenes más comerciales varían de 0,3 a 50 m³, ver Tabla 1, las mismas tienen certificaciones ISO. Los modelos comerciales son los cilíndricos ver Fig. 1, y las horizontales o cisternas ver Fig. 2. El fabricante ofrece sus productos con características de revestimiento de mono capa, bi capa y tri capa.

Tabla 1 Dimensiones de tanques

Volumen útil (m ³)	8,0	5,0	3,0	1,5	1,2	0,9	0,7	0,5	0,3
Diámetro mayor/ancho (m)	2,00	1,90	1,75	1,15	1,20	1,04	0,93	0,85	0,85
Diámetro de la tapa	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,50	0,50
Altura sin tapa (m)	2,07	2,35	1,66	1,22	1,27	1,17	1,19	0,90	0,66
Altura con tapa	2,10	2,40	1,70	1,25	1,29	1,20	1,21	0,92	0,68
Largo	2,70								

Mayores a 10 m³, es a pedido del cliente, los fabricantes ofrecen tanques cilíndrico hasta los 20 m³, o también tanque horizontal tipo cisterna.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Los tanques pueden montarse sobre una base plana rígida, hormigón ciclópeo, hormigón armado, piso de ladrillo u otro rígido, para volúmenes pequeños sobre paredes en ángulo o sobre perfiles metálicos espaciados cada 10 cm, los apoyos deben estar nivelados.

Tabla 2. Tanques de plásticos. Costos Directos Referenciales (Bs)

Volumen útil (m3)	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	3,0	5,0	8,0
Costo unitario	255	440	600	720	1 050	1 300	2 800	5 500	10 250

Estos costos pueden variar de acuerdo al fabricante y material empleado, el costo general es aproximadamente al equivalente de 1 200 Bs/m³, para volúmenes que no se muestra en la tabla.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
Fabricación local. Fácil instalación e inmediata. Económica. Paredes externas e internas lisas. Se minimiza la mano de obra calificada.	En sistemas de agua potable, la cara exterior da la apariencia de ser una instalación momentánea. Costo de transporte, al lugar de la obra.

REFERENCIAS:

Tanques PXB, TANK BURG

Tanques: Campeón, El Carmen Sta Cruz, Telf. 3371272, Fibra Com Telf. 4350752 Cba., Duralit

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS

ANEXO 1



Foto 1.1 Tanque tipo cilíndrico 5 m³



Foto 1.2. Tanque tipo cisterna 8 m³



Foto 1.3. Tanque tipo cisterna de fibra de vidrio 1.5 m³

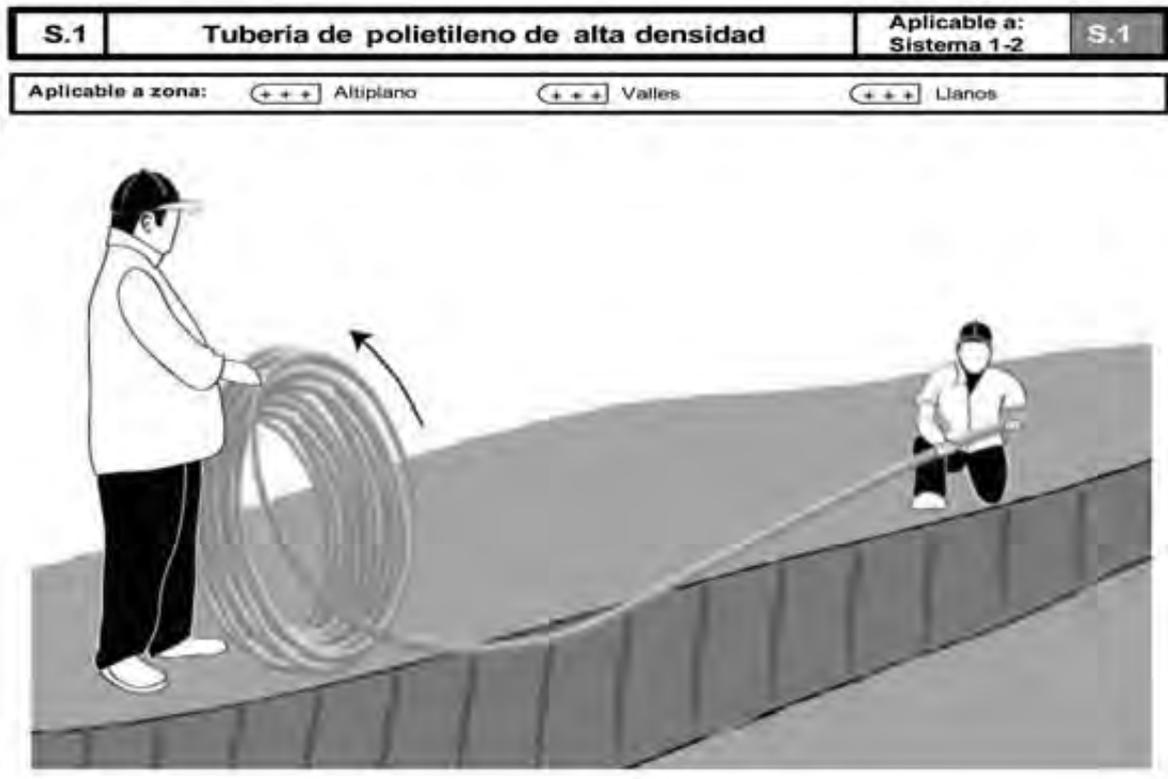


Fig. 1 Esquema de tendido de la tubería

DESCRIPCIÓN

Este nuevo material de construcción es innovador y está dirigido a obras de agua potable, como líneas de aducción y redes de distribución. Está fabricado con Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE por sus siglas en inglés), 100 % virgen de color celeste, diseñado para trabajar con agua a presión. Este producto es de fabricación nacional.

El uso de este material para la construcción de redes de agua potable es factible por sus buenas propiedades físicas, su larga vida útil y su facilidad de instalación y mantenimiento.

Las propiedades físicas de este material indicadas por el proveedor son las siguientes:

- Flexible: Se puede enrollar, doblar y aplastar.
- Liviano: De bajo peso y fácil de transportar.
- Tenaz: Alta resistencia al impacto, golpes y maltrato.
- Resistencia a bajas temperaturas: No pierde sus propiedades a bajas temperaturas.
- Resistencia a la corrosión: resiste indefinidamente en terrenos húmedos, salinos o químicamente agresivos.
- Presiones máximas y mínimas: Diseñado para presiones de trabajo de 40 a 160 m.c.a., de acuerdo a normas internacionales.

Vida útil mas de 50 años, 100% atóxico (apta para estar en contacto con los alimentos), resistencia al impacto, no pierde sus propiedades físicas a bajas temperaturas (hasta - 20 °C), resistencia a productos químicos y a suelos agresivos.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

La flexibilidad del tubo permite su fácil instalación en terrenos sinuosos con curvas y/o altibajos, es ideal para atravesar los puentes colgantes y/o tramos engrampados a laderas de piedra, la tenacidad del material lo hace menos sensible a terrenos pedregosos.

CRITERIOS DE DISEÑO

Características técnicas del producto

El cálculo de las perdidas de carga en un tramo, puede se calculado por la formula de Hazen Williams, expresado en la siguiente formula:

$$H_f = 1,131 \times 10^9 \times L \times (Q/c)^{1,852} \times D^{-4,871}$$

Donde:

- H_f = Perdida de carga en (m)
- L = Longitud de la tubería (m)
- Q = Caudal (m³/h)
- C = Coeficiente de Hazen Williams
- D = Diámetro interno del tubo

Tabla 1. Coeficientes de calculo (adimensional)

Formulas	Coeficiente	Valor HPDE
Hazen - Williams	C	140
Colebrook	k	0,01
Manning	n	0,01

Presiones máximas y mínimas:

En la tabla No.1 se muestra las presiones de trabajo de las tuberías HDPE

Se recomienda que las líneas de aducción por gravedad no sea mayor al 80 % de la presión nominal de trabajo, la presión estática máxima de 60 m.c.a., pero son aconsejables por aspectos de operación y mantenimiento no mayores a 30 m.c.a.

Tabla 2. Especificaciones Técnicas de tuberías HDPE

SUPERTUBO	Diámetro externo D = (mm)	Calibre equivalente (pulgadas)	Presión nominal de trabajo (m.c.a.)	Longitud del rollo (m)
HDPE 20 mm	20	1/2"	125	100
HDPE 25 mm	25	3/4"	125	100
HDPE 32 mm	32	1"	80	100
HDPE 40 mm	40	1 1/4"	80	100
HDPE 50 mm	50	1 1/2"	60	100
HDPE 63 mm	63	2"	60	100
HDPE 75 mm	75	2 1/2"	60	50
HDPE 90 mm	90	3"	60	50
HDPE 110 mm	110	4"	60	50

Se recomienda que la velocidad máxima del flujo del agua no sea mayor a 2,5 m/s, bajo ninguna circunstancia la velocidad máxima deberá ser mayor a 5 m/s. A requerimiento del solicitante el proveedor, puede fabricar para otras presiones hasta 160 m.c.a.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

En el tendido de la tubería del HDPE, no requiere de una cama de arena o tierra cernida, simplemente se debe evitar que el tubo entre en contacto directo con piedras puntiagudas, para disminuir los riesgos, o rellenar con el mismo material excavado de la zanja, seleccionando las piedras.

Los accesorios denominados SUPERJUNTA, permiten la instalación con el SUPERTUBO, estos accesorios están especialmente diseñados para trabajar con tuberías de Polietileno de Alta Densidad. Es compatible con otras tuberías como PVC, FG, mediante uniones roscadas, para estas uniones se usan generalmente el adaptador macho.

Forma de instalación:

En el momento de desenrollar la tubería, una persona debe hacer girar el rollo, mientras otra persona jala un extremo a lo largo de la zanja. Cuando una persona jala un extremo del tubo sin hacer girar el rollo se corre el riesgo de que se formen espirales. Tender el SUPERTUBO en forma ondulada, en una zanja de 100 m. entra 101 m. de tubo. Es incorrecto el tendido del tubo en forma recta, ver anexo.

Tabla 1. Tuberías HDPE. Costos directos referenciales (Bs)

SUPERTUBO	Diámetro externo D = (mm)	Calibre equivalente (pulgadas)	Costo por (m)
HDPE 20 mm	20	1/2"	4,3
HDPE 25 mm	25	3/4"	6,0
HDPE 32 mm	32	1"	7,1
HDPE 40 mm	40	1 1/4"	11,2
HDPE 50 mm	50	1 1/2"	14,1
HDPE 63 mm	63	2"	20,1
HDPE 75 mm	75	2 1/2"	29,3
HDPE 90 mm	90	3"	42,1
HDPE 110 mm	110	4"	62,0

En el país en las zonas periurbanas de la ciudad de Cochabamba, se han construido muchos sistemas de agua potable con este tipo de material, con resultados favorables.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La tubería es de fácil instalación, los accesorios son dispositivos particulares par este tipo de tubería, no se requiere tarrajas, teflones ni pegamentos, también se puede hacer la conexión con otros materiales como ser de FG o PVC, el proveedor ofrece conjuntamente con la tubería.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>No requiere de cama de tierra cernida o arena. Flexibilidad.</p> <p>Mayor vida útil. Facilidad de instalación.</p> <p>Resistencia al impacto.</p> <p>Reducido tiempo en el tendido de tuberías.</p> <p>Uniones seguras, se evita perdidas de agua.</p> <p>Se puede instalar en zanjas irregulares.</p> <p>La tenacidad del material lo hace menos sensible a terrenos pedregosos.</p> <p>Se puede trabajar con tubo mojado o bajo el agua.</p>	<p>No existe proveedores o ferreterías locales, solo se tiene en la ciudad de Cochabamba.</p> <p>Para presiones mayores, se solicita como pedido especial.</p> <p>Costo de material algo mas elevado con respecto a la tubería de PVC, para similar presión de trabajo.</p>

Referencias:

PLASTIFORTE, *Tuberías y ductos (SUPERTUBO y SUPER JUNTA)*

ANEXOS

Anexo 1.



Fig. 1.2 Forma incorrecta de desenrollar la tubería

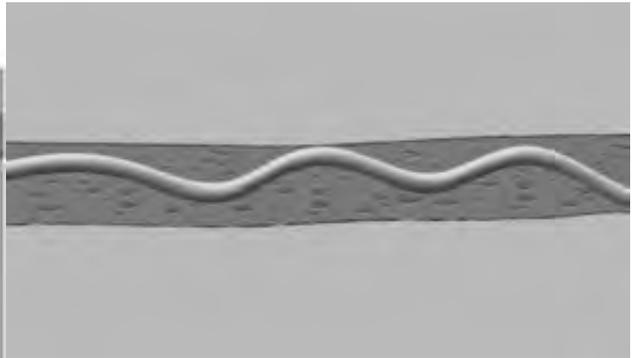


Fig. 1.2 Forma correcta de tenderla

Anexo 2.



Foto 2.1 Prueba de impacto y compresión a la tubería



Acople



Reducción



Tee



Tee reducción



Adaptador macho



Codo



Collar de derivación

Foto 2.2 Accesorios de SUPERJUNTA



Foto 2.3. Conexión domiciliar con medidor



Foto 2.4 Tendido de tubería la Maica - C. Cochabamba

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

SECCIÓN III

TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO



R.5		Baño seco de hoyo ventilado		Aplicable a: sistema 1-2	R.5
Nivel de empleo (+++) Rural dispersa (++) Rural concentrada (++) Periurbana		Nivel de administración (+++) Familia (+++) Familia (+++) Familia		Entrada producto: <input type="checkbox"/> Excreta	
				Salida del producto: <input checked="" type="checkbox"/> Abono	
Aplicable a zona: (++) Altiplano (+++) Valles (+++) Llanos					

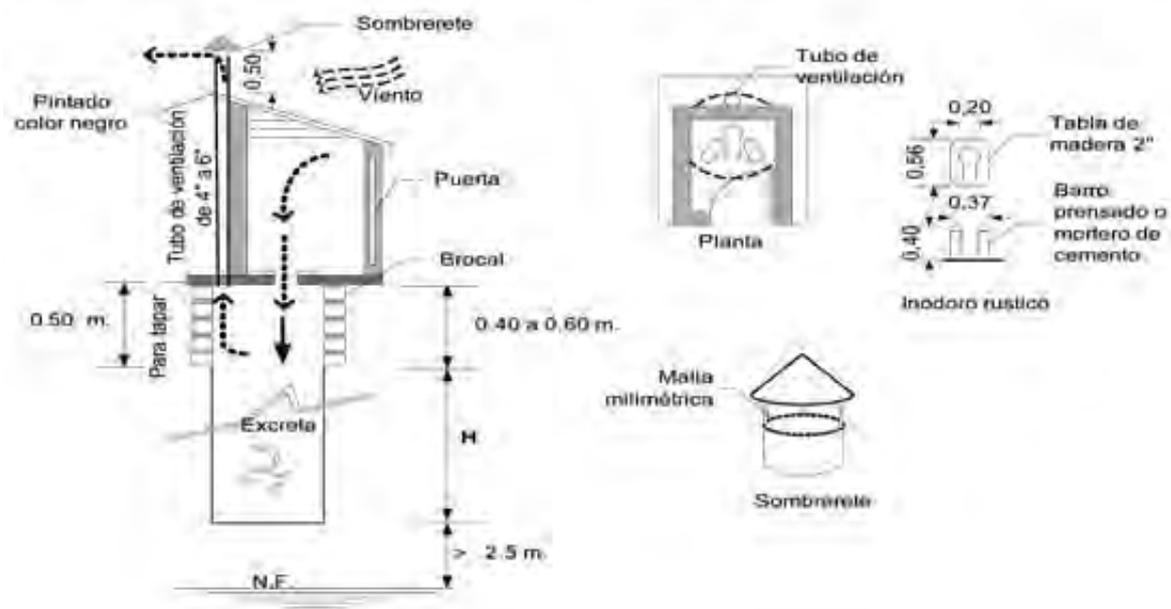


Fig. 1 Esquema del baño seco de hoyo ventilado

DESCRIPCIÓN

Esta tecnología consiste en un pozo u hoyo simple donde se incorpora un tubo de ventilación, que permite la circulación de una corriente continua de aire y la extracción de olores y que actúa también como una trampa para insectos (moscas).

El hoyo recibe las excretas humanas, con el fin de almacenarlas y aislarlas, a objeto de evitar que los microorganismos patógenos presentes puedan causar daños a la salud. El viento que circula por la parte superior de la tubería de ventilación crea una corriente ascendente de aire desde el hoyo/pozo a la atmósfera y otra descendente del aire exterior hacia el pozo, a través de la losa/plataforma sanitaria. De este modo se tiene un flujo continuo de circulación de aire que es conveniente para la evacuación de olores, ver Fig.1.

La estructura está formada por el pozo, una plataforma o losa de apoyo, tubo de ventilación y la caseta. El pozo u hoyo, puede ser de sección cuadrada, rectangular o circular, con dimensiones de 0.90-1.50 m y profundidades variables que pueden alcanzar a 3,0 m o más, dependiendo de las condiciones del suelo y del nivel freático. Cuando la estabilidad del suelo así lo permita, el fondo del hoyo deberá estar a más de 2,5 m de distancia con relación al nivel freático; esta condición se establece a objeto de evitar la contaminación de las aguas subterráneas. La

capacidad de llenado del pozo dependerá del número de usuarios y su frecuencia de uso. El periodo de vida útil es generalmente superior a los 6 años.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Esta tecnología se adapta en viviendas y escuelas de zonas rurales y peri urbanas, donde el abastecimiento de agua es escaso o inexistente y/o no se cuenta con alcantarillado sanitario. Se aplica a cualquier tipo de clima y entorno social. Es una tecnología simple, económica, fácilmente adaptable y generalmente aceptada por la comunidad. Sin embargo, no es apropiada para zonas inundables, suelos con nivel freático alto, suelos rocosos y áreas urbanas con alta densidad de viviendas, que en conjunto, pueden contaminar las aguas subterráneas. En el país se tienen experiencias desarrolladas en las tres regiones: Altiplano, Valles y Llanos.

Baño de hoyo seco ventilado con desvío de orina

Una variante de esta tecnología es incorporar, un inodoro ecológico, que es una taza sanitaria que incluye un separador de orina (pipi ducto) que descarga a un pozo de infiltración, ver la Fig. 2, Esta solución tiene la ventaja de disminuir la generación de olores, por la separación líquido/sólido, donde el pozo está destinado únicamente para la descarga de heces fecales. El uso de este tipo de baño requiere el empleo de material secante: ceniza, tierra cernida, hojas secas o cal, que se vierten al hoyo, acelerando el proceso de descomposición de la materia orgánica y eliminación de patógenos. No se tiene referencia de su práctica en el país, pero sí en otros países (Nicaragua), ver Fotos 1-2.

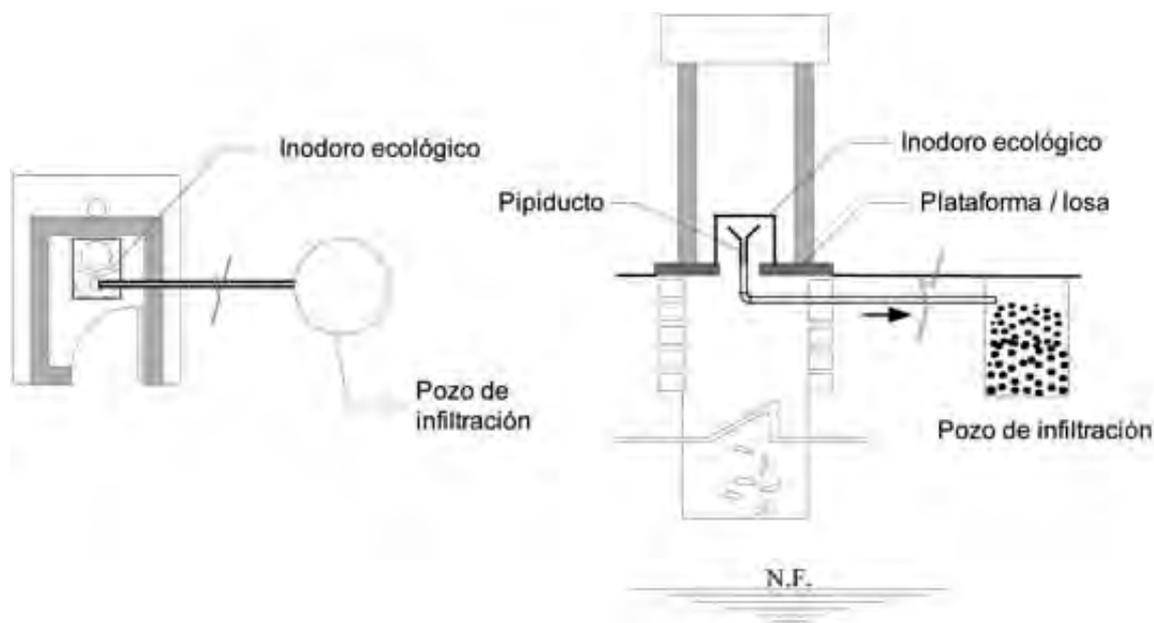


Fig. 2. Baño de hoyo seco ventilado c/ desvío de orina

CRITERIOS DE DISEÑO

Para el cálculo del tiempo de llenado de un hoyo se toma en cuenta la producción per cápita de excretas, adoptando un valor de 50 L/hab./año, el número de usuarios por vivienda y el volumen del hoyo adoptado, sin considerar un volumen equivalente a 50 cm de material de relleno de tierra o tapado final.

$$T = \frac{V_n}{P}$$

T = Tiempo de llenado (año)

V_n = Volumen neto de almacenamiento de excretas (m³)

P = Producción de excretas (0,05 m³ x No. de usuarios)

La Tabla 1, muestra resultados del cálculo del tiempo de llenado, para distintos diámetros y profundidades del hoyo.

Tabla 1. Tiempo de llenado del hoyo (años)

Número de habitantes	Profundidad total del hoyo (m)	Diámetro interior pozo (m)		
		0,9	1,0	1,2
5	3,0	6,5	8,0	11,0
	4,0	9,0	11,0	16,0
	5,0	11,0	14,0	20,0
	6,0	14,0	17,0	25,0
7	3,0	4,5	5,5	8,0
	4,0	6,0	8,0	11,0
	5,0	8,0	10,0	14,5
	6,0	10,0	12,3	18,0
10	3,0	3,0	4,0	5,5
	4,0	4,5	5,5	8,0
	5,0	5,5	7,0	10,0
	6,0	7,0	8,5	12,0

* Incluye 0,50 m de altura para el relleno o tapado final con tierra.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Para la estabilidad del pozo es necesario la construcción de un brocal en forma de collarín, ubicado en la parte superior del hoyo, que lo protege del ingreso de aguas superficiales y sirve de apoyo a la losa/plataforma, este brocal puede ser de ladrillo, concreto, piedra, madera u otro material existente en la región, la losa debe sobresalir al menos 0,20 m del nivel del terreno.

La caseta es una estructura que debe brindar privacidad y comodidad al usuario así como de proteger el artefacto sanitario (taza, losa/plataforma). La puerta debe tener un ancho mínimo de 0,60 m, y una altura de 1,80 – 2.10 m, la abertura de la puerta se la hace girando hacia adentro, a objeto de evitar los golpes de viento. Como medida de protección contra la contaminación de las aguas, la caseta deberá estar ubicada a una distancia mínima de 15 m respecto a la fuente más próxima de agua para consumo humano (pozo, curso superficial) y situada aguas abajo de la corriente subterránea o curso superficial más próximo. En cualquier caso la caseta deberá estar ubicada a una distancia mayor a 5 m, respecto de la vivienda (a objeto de evitar daños en la infraestructura existente).

La ventilación puede estar constituida por una tubería, DN 100 (4") – 150 (6"), de PVC o de calamina plana, empotrada directamente sobre la losa o plataforma. Se instala, pintada de color negro, en la parte exterior de la caseta, sobresaliendo la cobertura de techo en 0.50m. El extremo superior de la tubería está provisto de un sombrero de calamina plana, protegido con malla milimétrica, para la retención de moscas, ver Fig. 1. La losa o plataforma, posee un hoyo de 0.20 m de diámetro, puede ser de concreto, fibra de vidrio, porcelana u otro material, puede también instalarse una taza turca o un inodoro rústico, ver Fig. 1. Para la variante de baño de hoyo seco con desvío de orina, Fig. 2, el inodoro a ser empleado será el ecológico, hecho de fibra de vidrio o porcelana.

La Tabla 2, muestra los costos (en Bs.) de baños de hoyo seco ventilados. El costo incluye el artefacto sanitario, puerta y los materiales pétreos. Los costos de excavación corresponden al aporte de los usuarios, generalmente en mano de obra. El costo final depende del acabado interior/exterior de las casetas.

Tabla 2. Baños de hoyo seco ventilado. Costos directos referenciales (Bs)

Caseta de adobe con cubierta de paja u otro material natural	Caseta de adobe con cubierta calamina, buen acabado	Caseta de ladrillo con cubierta calamina, buen acabado
1 060	2 400	2 600

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El material de limpieza anal, papel, piedra u otro material, dependiendo de la disponibilidad de los mismos, son vertidos directamente al hoyo. Es recomendable vaciar al hoyo ceniza u otro material secante al menos una vez cada dos meses. Las actividades rutinarias de mantenimiento se reducen a una limpieza interna y externa de la caseta, limpieza de la losa o plataforma, mantenimiento de la cuneta de drenaje (alrededor de la caseta) y cuidado del tubo de ventilación. Cuando el hoyo está lleno se lo deberá tapar con un relleno de tierra de 0,5 m y trasladar la caseta a un nuevo sitio de instalación, ver Tabla 3.

Si se tiene la solución del baño de hoyo seco ventilado con desvío de orina, las principales tareas de operación y mantenimiento rutinarios consisten en i) echar una taza de material secante después de cada uso, ceniza, cal, aserrín, en la proporción equivalente al volumen de heces, ii) limpiar el pipi ducto con un pequeño chorro de agua y iii) contar con el recipiente de material secante siempre lleno (para lo cual se debe preparar periódicamente y almacenarlo para su uso); iv) realizar la limpieza cotidiana del inodoro ecológico con cepillo y trapo húmedo tanto del interior como exteriormente, ver Tabla 3.

Tabla 3. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Limpieza	Limpiar diariamente el interior de la caseta y el área adyacente al baño.
Uso del baño	Limpiar el artefacto sanitario en forma continua, con cepillo seco y trapo húmedo. Verter ceniza o cal una vez cada dos meses.
Uso del inodoro ecológico	Echar una taza de ceniza, tierra cernida, cal u hojas secas en cada uso, en una proporción equivalente al volumen de heces.
Mantenimiento de la infraestructura	Observar y corregir desprendimiento de revoques y/o rajaduras en paredes, tabiques, losa, puerta, techo etc.
Control del nivel de excretas en el hoyo	Controlar el nivel de las excretas del hoyo, hacerlo al menos una o dos veces al año.
Traslado de caseta	Cambiar de lugar el baño cuando la altura del material deshidratado esté por debajo de 0,5 m. Cubrir el hoyo con una capa de tierra de 50 cm, ¡sembrar un árbol!

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>No requiere el empleo de agua.</p> <p>Construcción con materiales locales.</p> <p>De uso inmediato una vez concluida la obra.</p> <p>Económica, dependiendo de la calidad de la obra.</p> <p>Requiere de pequeño espacio para su construcción.</p> <p>Fácil de construir, puede ser hecha por los mismos beneficiarios.</p> <p>Fácil de replicar.</p> <p>Inactivación de patógenos, para periodos de llenado mayores a dos años.</p> <p>La variante con inodoro ecológico es la que tiene mejor rendimiento y menor riesgo de presencia de moscas y/o olores.</p> <p>Vida útil mayor a 6 años.</p>	<p>Presencia de malos olores si no se tiene una buena ventilación.</p> <p>No se puede construir en zonas donde se presenta inundaciones o niveles freáticos elevados.</p> <p>Posibilidad de contaminar los acuíferos.</p> <p>No es posible su construcción en suelos rocosos.</p> <p>Solución temporal, una vez llenado el hoyo se deberá trasladar la caseta a otro lugar.</p>

Referencias

OPS – OMS – CEPIS, *Guía de diseño de baños para procesos secos*, 2005.

USAID, *Red Proyecto de diversificación económica rural, instalaciones sanitarias en campo*, nov. 2 005.

Tecnologías Apropriadas de Saneamiento (TAS), una alternativa a los sistemas de desagüe convencionales,

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS - VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BASICOS.

Operación y Mantenimiento de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento, para poblaciones menores a 10 000 habitantes.

ANEXOS

Anexo1



Foto 1.1 Baño de hoyo seco ventilado con desvío de orina
Rep. El Salvador



Foto 1.2. Inodoro ecológico

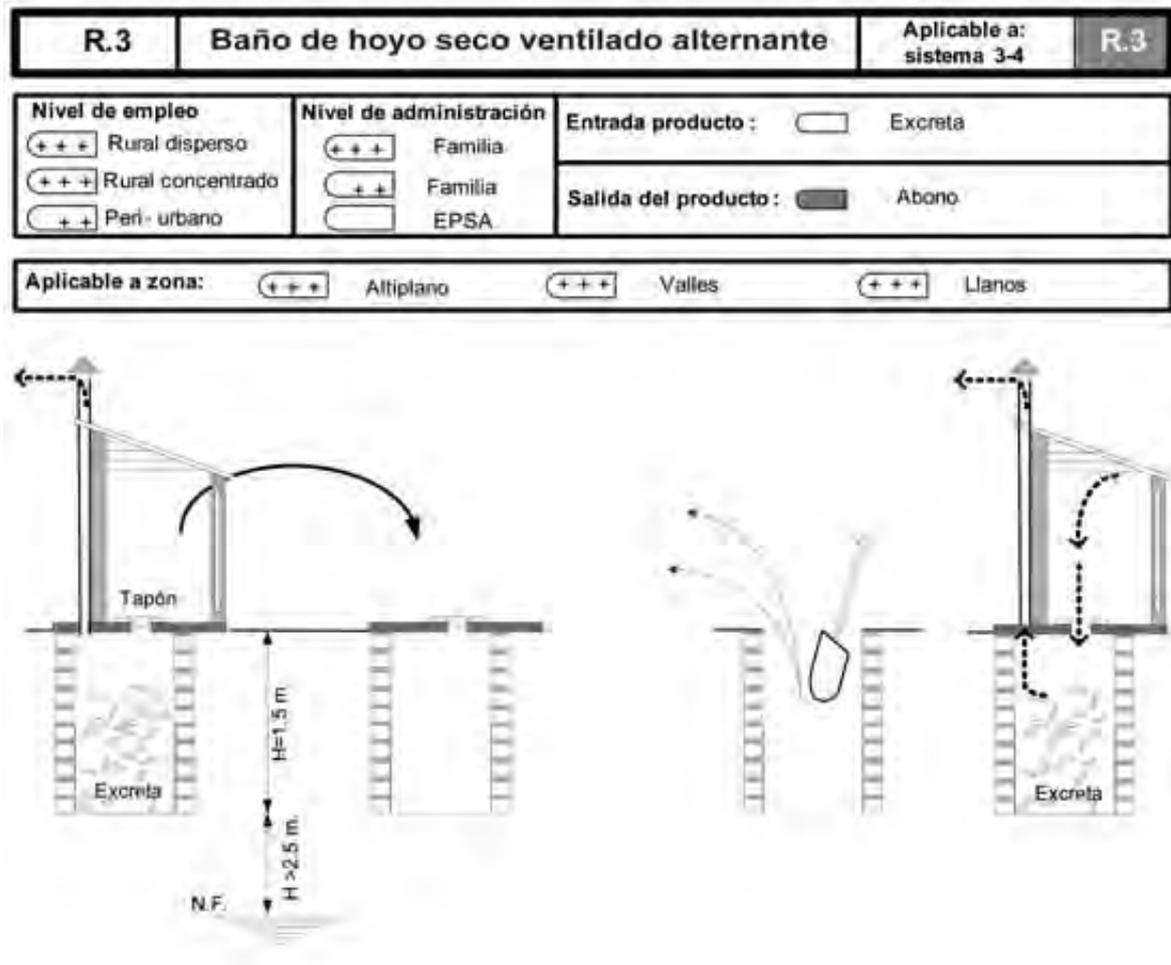


Fig.1. Baño de hoyo seco ventilado alternante

DESCRIPCIÓN

El baño de hoyo seco ventilado alternante, es otra alternativa tecnológica del baño de hoyo seco ventilado, en el cual se incorpora otro segundo hoyo, próximo al primero, para su cambio o rotación del baño cuando el primer hoyo ha sido llenado. Esta solución permite un uso continuo del baño, mientras el primer hoyo es usado, el segundo está en espera para el traslado de la caseta. El material que se obtiene del pozo u hoyo que llega a su nivel de llenado, es enterrado o puede servir para la habilitación de áreas verdes o parques, tanto a nivel familiar como comunitario, ver tecnología de Enterramiento.

El llenado de un hoyo seco ventilado se produce después de 18-60 meses de almacenamiento, dependiendo del número de usuarios, diámetro del hoyo y uso. La estructura está constituida por dos hoyos, una plataforma o losa, tubo de ventilación y caseta transportable. El hoyo puede ser de sección cuadrada, rectangular o circular, con dimensiones de 0,90 - 1,50 m y profundidad máxima de 1,5 m, a objeto de permitir el retiro del material acumulado en forma manual. Como medida de protección contra la contaminación de las aguas subterráneas el piso o fondo del hoyo deberá estar a una distancia mayor a 2,5 m con relación al nivel freático.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Esta tecnología se adapta para viviendas y escuelas en zonas rurales y peri urbanas, donde el abastecimiento de agua es escaso, inexistente o donde no se cuenta con alcantarillado sanitario. Es aplicable en cualquier tipo de clima y entorno social. Es una tecnología simple, económica, fácilmente adaptable y generalmente aceptada por la comunidad. Sin embargo, no es apropiada para zonas inundables, nivel freático alto y/o suelo rocoso, y zonas de expansión urbana con alta densidad de viviendas, que en conjunto pueden contaminar las aguas subterráneas. En el país se tiene experiencias realizadas en las tres zonas ecológicas: Altiplano, Valles y Llanos.

Baño de hoyo seco ventilado alternante con cámaras juntas con y sin desvío de orina

Una variante de esta tecnología se puede ver en la Fig. 2, donde se tienen dos hoyos juntos unos a otros y una caseta fija. En la Fig. 3 se muestra otra variante, incorporando un inodoro ecológico con desvío de orina y un pozo de infiltración. Esta solución tiene la ventaja de lograr minimizar la presencia de olores por la separación líquido/sólido que se logra. Para su uso se requiere el empleo de material secante como ser: ceniza, cal, tierra cernida, aserrín, hojas/ramas secas y/o similares. No se tiene referencia de aplicación de esta tecnología en el país

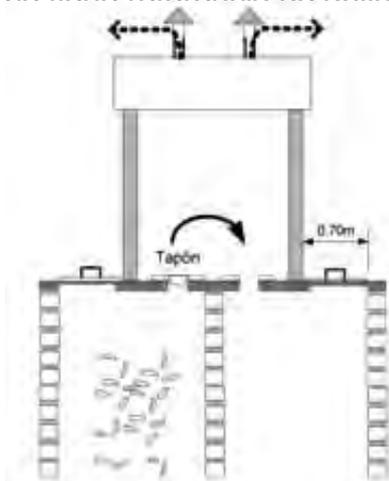


Fig. 2 Variante con 2 cámaras juntas sin desvío de orina



Fig. 3 Variante con 2 cámaras juntas con desvío de orina

CRITERIOS DE DISEÑO

Para el cálculo del tiempo de llenado de un hoyo se toma en cuenta la producción per cápita de excretas, adoptando un valor de 50 L/hab./año, el número de usuarios por vivienda y el volumen del hoyo adoptado, sin considerar 30 cm de altura de volumen muerto. Los cálculos son similares a los del baño de hoyo seco ventilado. En la Tabla 1, se muestran resultados del cálculo del tiempo de llenado de un hoyo seco para distintos diámetros y una profundidad máxima de 1.5 m.

Tabla 1. Tiempo de llenado de un hoyo seco ventilado alternante (años)

Número de habitantes	Profundidad total hoyo (m)	Diámetro interior pozo (m)		
		0,9	1,0	1,2
5	1,5	3,1	3,8	5,4
7	1,5	2,2	2,7	3,9
10	1,5	1,5	1,9	2,7

La información referente a la presencia de patógenos en los lodos retirados del hoyo seco se indica en la tecnología de Enterramiento.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Para esta tecnología es recomendable que la losa tapa sea fácil de levantar, la caseta debe construirse de materiales livianos, transportable, para su ubicación en un nuevo sitio. Las otras partes componentes son similares a las correspondientes al baño de hoyo seco ventilado. Para el caso de la variante hoyo seco ventilado alternante con cámaras juntas unas a otras, con y sin desvío de orina, la caseta es fija y puede ser construida con materiales convencionales.

La Tabla 2 muestra los costos (Bs) estimados para diferentes tipos de casetas.

Tabla 2. Costos referenciales en bolivianos

Caseta de adobe con cubierta de paja u otro material natural	Caseta de adobe con cubierta de calamina y buen acabado	Caseta de ladrillo con cubierta de calamina y buen acabado
1 700	3 800	4 400

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las tareas rutinarias de operación y mantenimiento son similares a las indicadas en la tecnología del baño de hoyo seco ventilado. Cuando la primera fosa se pone en uso, una capa de hojas en el fondo del hoyo contribuirá al mejor desempeño de la degradación de la materia orgánica. Periódicamente se debe depositar material orgánico, hojas, ramas y similares, para mantener una buena porosidad y permitir la oxigenación de la masa de sólidos. También es recomendable agregar una cantidad pequeña de material secante (tierra cernida, ceniza, cal). Una vez que un hoyo esté completamente lleno, se lo sella con un relleno de tierra de 30 cm y se usa el siguiente hoyo trasladando la caseta a un nuevo sitio elegido. Una vez vaciado el contenido del primer hoyo ya se puede hacer uso del mismo y así proceder en forma alternada. Para alargar el tiempo de llenado del hoyo, es recomendable que de vez en cuando el material acumulado sea removido para tener una distribución uniforme en el hoyo. Para el caso del empleo de un inodoro ecológico, su mantenimiento es similar al del baño de hoyo seco ventilado con desvío de orina. La Tabla 3 muestra un resumen de las principales tareas de operación mantenimiento del baño de hoyo seco ventilado alternante.

Tabla 3. Actividades principales de operación y mantenimiento.

Actividad	Acciones Claves
Aseo	Limpiar diariamente el interior de la caseta, el artefacto sanitario y el área adyacente al baño.
Uso del baño	Limpiar el artefacto sanitario en forma continua, con cepillo seco y trapo húmedo. Para el uso del baño común echar ceniza o cal una vez cada dos meses
Uso del inodoro ecológico	Verter una taza de ceniza, tierra cernida, cal u hojas secas en cada uso, en la proporción equivalente al volumen de heces.
Mantenimiento de la infraestructura	Observar y corregir desprendimiento de revoques y/o rajaduras en la losa, muros, tabiques, puerta, cubierta de techo, etc.
Control de excretas en el hoyo	Controlar el nivel de las excretas en el hoyo seco, hacerlo al menos una o dos veces al año.
Traslado de caseta.	Cambiar de lugar el baño en su conjunto (caseta), cuando la altura del material acumulado este por debajo de los 30 cm.
Retiro del material almacenado en el hoyo seco ventilado.	Cuando se llenan los dos hoyos, retirar el material almacenado, ingresar con la seguridad sanitaria para retirar el material deshidratado y trasladarlo para su enterramiento.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>No requiere el empleo de agua.</p> <p>Construcción con materiales locales.</p> <p>De uso inmediato una vez concluida la obra.</p> <p>Económica, dependiendo de la calidad de la obra.</p> <p>Requiere pequeño espacio para su construcción</p> <p>Fácil de construir, puede ser hecha por los mismos beneficiarios.</p> <p>Fácil de replicar.</p> <p>Inactivación de patógenos para tiempos de almacenamiento mayores a dos años.</p> <p>La variante con inodoro ecológico es la que tiene mejor rendimiento y menor riesgo de presencia de moscas y/o olores.</p> <p>Instalación permanente una vez construido el baño.</p> <p>Buena reducción de patógenos, pero pueden quedar indicios de presencia de áscaris lumbricoides.</p>	<p>Costo inicial elevado.</p> <p>Riesgo potencial de presencia de malos olores, si no se tiene una buena ventilación.</p> <p>No se puede construir en zonas donde se presentan inundaciones o niveles freáticos elevados.</p> <p>Posibilidad de contaminar los acuíferos.</p> <p>No es posible su construcción en suelos rocosos.</p> <p>Rechazo y temor de los usuarios en la extracción del material acumulado.</p>

Referencias:

OPS – OMS – CEPIS, *Guía de diseño de baños para procesos secos, 2005.*

USAID, *Red Proyecto de diversificación económica rural, instalaciones sanitarias en campo, nov 2005.*

Tecnologías Apropriadas de Saneamiento (TAS), una alternativa a los sistemas de desagüe convencionales.

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PUBLICAS VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BASICOS, *Operación y Mantenimiento de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento, para poblaciones menores a 10.000 habitantes.*

R.4	Baño con arrastre de agua	Aplicable a: sistema 5	R.4
Nivel de empleo (+++) Rural dispersa (++) Rural concentrada (++) Periurbana	Nivel de administración (+++) Familia () EPSA () EPSA	Entrada producto : () Excreta	
		Salida del producto : () Abono	
Aplicable a zona: (++) Altiplano (++) Valles (++) Llanos			

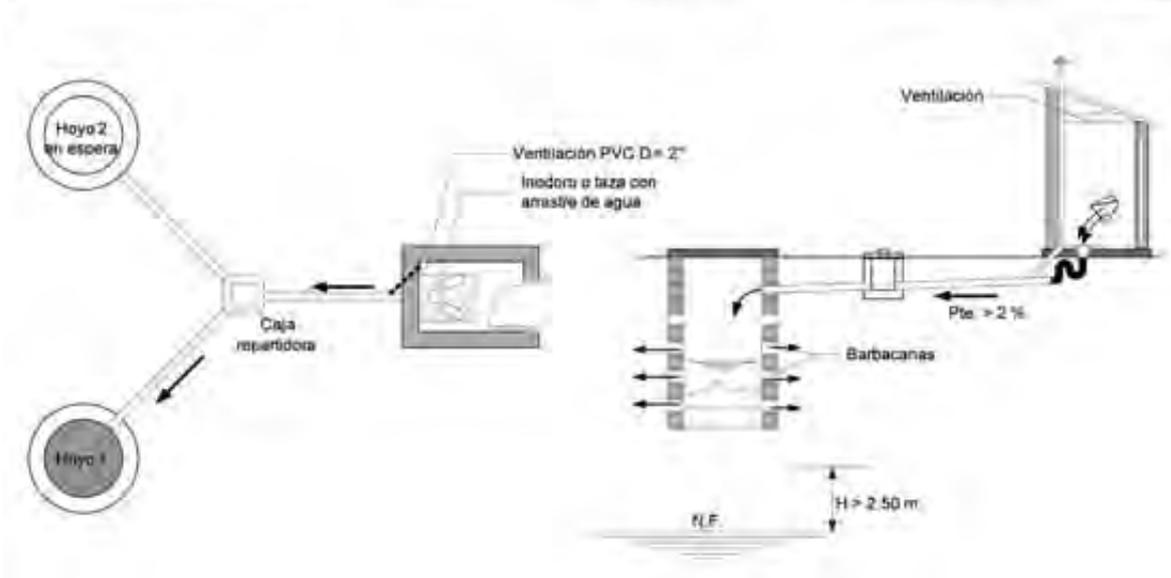


Fig. 1. Baño con arrastre de agua.

DESCRIPCIÓN

Esta tecnología consiste en dos pozos de infiltración, que trabajan en forma alternada, conectados a un inodoro con descarga de agua. Las aguas residuales son descargadas en los pozos de infiltración para su absorción por el suelo. Con el transcurso del tiempo los lodos fecales son suficientemente deshidratados y pueden ser removidos en forma manual. Mientras un pozo se llena con excretas, el otro se encuentra en espera para uso alternado en forma indefinida, ver Fig.1.

Los pozos de infiltración deben tener un tamaño adecuado para acumular el volumen de los lodos fecales generados en uno o dos años, el tiempo de almacenamiento permite que los sólidos acumulados en el pozo se transformen en material inofensivo, que puede ser removido manualmente. Considerando que esta tecnología consume agua para la evacuación de las excretas, se requiere de un mayor tiempo de almacenamiento de los lodos fecales en los pozos de infiltración para su remoción en forma segura. Una permanencia de dos años o más es recomendable para lograr una buena estabilización. La materia degradada puede ser removida manualmente y debe ser transportada para su enterramiento en un sitio seleccionado, ver la tecnología de Enterramiento. La infraestructura está compuesta por una caseta, el artefacto sanitario (si se cuenta con red de agua potable, es recomendable emplear el inodoro de bajo consumo de agua), tubería de desagüe, caja repartidora de caudales, pozo con estructura de soporte, ventilación y losa/plataforma del pozo.

La corriente de agua que se infiltra en los pozos fluye hacia la estructura de suelo no saturado, zona de aireación, donde los organismos fecales son removidos. El grado de remoción varía con el tipo de suelo, distancia recorrida, humedad y otros factores medio ambientales. Pozos muy profundos ponen en riesgo de contaminación las aguas subterráneas. Como medida de protección, se estipula que la distancia del fondo del pozo al nivel máximo de aguas subterráneas (durante la época de lluvias) debe ser superior a 1.50 m. La contaminación de suelos por microorganismos patógenos puede viajar cientos de metros en condiciones saturadas, una distancia mínima de 30 m, entre los pozos de infiltración y cualquier fuente de agua para consumo humano, es recomendable para limitar los riesgos asociados a la contaminación química y biológica de las aguas.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Esta es una tecnología con instalaciones permanentes, es apropiada en zonas áridas, donde no se ponga en riesgo la calidad de las aguas subterráneas y/o superficiales y no se tenga suficiente capacidad de absorción del suelo (suelos de arcilla o roca compactada no son adecuados). Requiere de un abastecimiento continuo de agua, en zonas de escasez del recurso hídrico, puede aprovecharse el agua de lluvia. Esta tecnología es aplicable en zonas rurales y periurbanas. Sin embargo, una alta densidad de pozos en un área pequeña puede causar la sobre saturación del suelo y consecuentemente la contaminación de las aguas (subterráneas, superficiales) y/o el anegamiento de suelos. En zonas de ladera o taludes, la sobresaturación de suelos, causada por la infiltración de aguas provenientes de estos sistemas, puede provocar derrumbes o deslizamientos que ponen en riesgo la seguridad pública. Por su elevada concentración de contaminantes (en forma puntual), no se recomienda su empleo en zonas de alta densidad de población y donde el nivel de aguas subterráneas es elevado. Esta tecnología se ha implementado en todo el país, particularmente en la zona oriental donde se han presentado problemas de contaminación de las aguas subterráneas.

CRITERIOS DE DISEÑO

Para la determinación de la altura total del pozo, se podrá aplicar la siguiente ecuación, ver Fig. 2:

Altura total del pozo

$$H_t = H_1 + H_a + H_s$$

Donde:

H₁ = Altura de la capa de lodos fecales (m)

H_a = Altura de la capa del líquido sobrenadante (m)

H_s = Altura adicional de seguridad, generalmente se considera 0,30 m

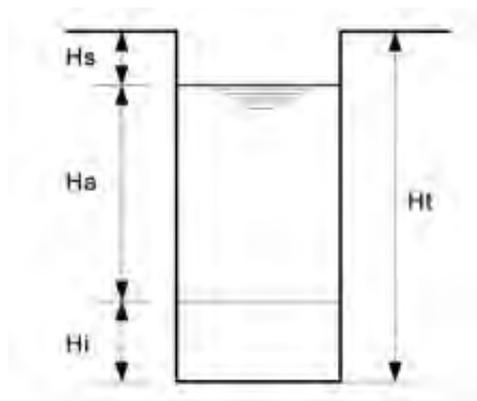


Fig. 2. Corte del pozo de infiltración

Altura de la capa de lodo:

$$H_1 = \frac{(N \times T_1 \times t)}{A}$$

Donde:

N = Número de usuarios

T₁ = Tasa de producción de lodos (m³/hab. año)

t = Tiempo de llenado del pozo (años)

A = Área de la sección transversal del pozo (m²)

Altura de la capa del líquido

$$H_a = (N \times T_a) / (P \times T_i)$$

Donde:

N = Número de usuarios

T_a = Tasa de aporte del líquido (L/hab. día)

P = Perímetro exterior de la sección transversal del pozo (m)

T_i = Tasa de infiltración del suelo (L/m². día)

T_a: Se determina mediante la fórmula:

$$T_a = n \times v + v_e$$

Donde:

n = Número de veces de uso del baño por día.

v = Volumen de agua que se descarga por artefacto sanitario por cada uso (se sugiere adoptar 5 - 7 L, para un arrastre adecuado, artefactos de bajo consumo de agua)

v_e = Volumen de orina y heces que aporta cada persona por día (se adopta un promedio de 1,5 L/día)

Las hipótesis básicas de cálculo son las siguientes: Producción anual de excretas de 0,05 - 0,06 (m³/hab. año), volumen de orina adoptado igual a 1,3 (L/día), volumen de agua que descarga el artefacto sanitario por cada uso (5 -7 L, para un arrastre adecuado de la orina y excretas respectivamente, empleando artefactos de bajo consumo). La tasa de infiltración del suelo se determina mediante ensayos de percolación. La Tabla 1 muestra algunos valores referenciales de acuerdo al tipo de suelo, ver la tecnología de infiltración de aguas residuales.

Tabla 1. Tasas recomendadas para la infiltración de aguas residuales en pozos

Tipo de suelo	Tasa de infiltración (L/m ² día)
Suelos de buena permeabilidad: Arena Limo arenosos, limos Limos o arcillosos porosos	50 30 20
Suelos de baja permeabilidad Limos o arcillas compactas	10

En el Anexo 1. Grafico 1.1 se muestra una curva de infiltración para la determinación de la tasa de infiltración en función a los resultados del ensayo de percolación.

En la Tabla 2 se muestran algunos resultados ilustrativos del tiempo de llenado de un pozo para distintos diámetros, considerando una familia de 5 personas, 4 usos del inodoro en el día, 1,3 (L/día) de producción de orina y 7 L de descarga de agua del artefacto sanitario por cada uso.

Tabla 2. Tiempo de llenado del pozo para una familia de 5 habitantes (años)

Tipo de suelo / tasa de infiltración	Altura pozo (m)	Diámetro interior del pozo (m)			
		0,8	0,9	1,0	1,2
Arena: (50 L/m ² día)	1,50	*	*	1,7	2,1
	1,70	*	1,7	2,1	3,0
	2,00	2,1	2,6	3,2	4,0
	2,20	2,6	3,2	3,7	4,0
Limo arenosos, limos: (30 L/m ² día)	1,50	*	*	*	*
	1,70	*	*	*	1,5
	2,00	*	1,5	1,6	2,5
	2,20	*	1,7	2,2	3,2
Limos o arcillosos porosos: (20 L/m ² día)	1,50	*	*	*	*
	1,70	*	*	*	*
	2,00	*	*	*	*
	2,20	*	*	*	1,5

*Llenado menor a 1,5 años

Aguas grises

En caso de descarga de aguas grises al sistema, se debe verificar las dimensiones del pozo según las fórmulas indicadas. Para la definición de caudales se pueden adoptar los valores de la Tabla No.3.

Tabla 3. Dotaciones per cápita referenciales en el país (L/hab.día)

Zona (región)	Altitud Media msnm	Ciudades menores	Ciudades intermedias	Ciudades mayores	Ciudades metropolitanas
Altiplano	3 600 – 4 000	50 -70	60 - 80	80 - 100	80 - 120
Valles	500 – 3 600	60 - 80	80 - 90	80 - 100	80 - 120
Llanos	100 - 500	70 - 100	90 - 100	100 - 120	100 - 150

Ciudades: Menores: 2 000 a 10 000 hab.
 Intermedias: 10 000 – 100 000 hab.
 Mayores: 100 000 – 500 000 hab.
 Metropolitanas > 500 000 hab.

Información recopilada de las EPSAs del país.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

A objeto de minimizar la contaminación cruzada entre el pozo en reposo y el usado, es recomendable que los pozos gemelos sean construidos con una separación igual a 3 veces el diámetro exterior de los mismos. Deben ser construidos alejados de cualquier fundación o cimentación de vivienda manteniendo una distancia mayor a 5-8 m. Su construcción requiere que el muro perimetral esté asentado en el fondo del pozo para prevenir su colapso. El artefacto sanitario, puede ser del tipo turco o tipo inodoro, con sifón incorporado. La caseta deberá guardar las dimensiones adecuadas y cómodas para el usuario, tomando en cuenta las instalaciones sanitarias contempladas, como el inodoro y/o lavamanos que pueda incorporarse en ella. Asimismo se tomará en cuenta la ventilación y luz suficiente. Es preferible que la puerta gire interiormente a objeto de mitigar los impactos negativos del viento. La tubería de desagüe tiene un diámetro DN 75 (3") – DN 100 (4"), de PVC o de cemento y se instala con una pendiente mínima del 2 %. La cámara distribuidora de caudales tiene una sección transversal de 40 x 40 x cm y es colocada entre los pozos y la caseta del baño. El pozo tendrá un diámetro y profundidad según cálculo, debiendo mantener una distancia mínima, respecto al nivel de las aguas subterráneas, mayor a 1.5 metros. La estructura soporte del pozo de infiltración, los muros perimetrales, puede ser construida de mampostería de piedra bruta, muro de ladrillo, hormigón simple u otro material rígido, dependiendo de la disponibilidad de los materiales locales. Como área de filtración se consideran las paredes perimetrales del pozo, las cuales deberán contar con orificios o barbacanas para facilitar la infiltración de las aguas residuales en el suelo. El diámetro recomendado de la tubería de ventilación es de DN 50 (2"), de PVC, conectado al ramal de descarga del inodoro.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Después de un periodo de descanso de 1.5- 2 años, los pozos pueden ser vaciados manualmente, usando palas de mango alargado y empleando personal que cuente con protección sanitaria. Esta tarea se la debe realizar antes de la época de lluvias a objeto de prevenir su rebalse.

En este tipo de baños el material de limpieza anal deberá disponerse en un tacho paplero y no arrojarlo al inodoro, caso contrario, se tiene el riesgo de taponamiento prematuro de las paredes del pozo. La Tabla 4, muestra las principales tareas de operación y mantenimiento a ser tomadas en cuenta.

Tabla 4. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Uso	Verter al papelerero el material de limpieza anal, papel, piedra, chala u otro. Lavarse las manos, con agua y jabón, después de usar el baño.
Limpieza	Limpiar el área adyacente al baño, quitando plantas, hierbas, piedras y otros materiales extraños. Limpiar el canal de drenaje de aguas pluviales del contorno del baño. Limpiar el inodoro con agua y jabón o detergente, empleando una escobilla de plástico. En caso de taponamiento en la tubería de desagüe, utilice una varilla de alambre galvanizado de ¼”, introduciéndolo por la caja repartidora y lavar con bastante agua.
Retiro de los lodos fecales almacenados	Una vez llenos los dos pozos de infiltración, se retiran los sólidos de la más antigua y se transporta para su enterramiento.
Reparaciones	Reparar los daños en la estructura, rajaduras, sistema de drenaje pluvial, etc.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>El sello de agua dá alto confort y limpieza y eliminación de olores, es comúnmente aceptada como una opción sanitaria, lo mas próximo a un baño convencional.</p> <p>Puede ser construido y reparado con materiales locales disponibles.</p> <p>La vida útil del baño es ilimitada, porque los pozos son usados alternativamente.</p> <p>La remoción del material almacenado es más fácil por el tiempo de almacenamiento y el proceso de deshidratación.</p> <p>La presencia de moscas y olores se reduce significativamente, en comparación con los pozos sin sello de agua.</p> <p>Costo accesible a las capacidades de la comunidad, pero variable, por los materiales a ser empleados.</p> <p>Bajo costo de operación si es auto – vaciado</p> <p>Reducción de patógenos por infiltración en suelos.</p> <p>Fácil de replicar.</p>	<p>Sólo puede ser usado con cantidades limitadas de agua, de acuerdo a la capacidad de percolación del suelo.</p> <p>Sólo es apropiado cuando se tiene disponibilidad de agua en forma continua.</p> <p>No es apto para zonas inundables ni zonas con niveles freáticos elevados.</p> <p>No es apto para suelos impermeables.</p> <p>El agua estancada puede promover la crianza de insectos.</p> <p>La obstrucción es frecuente si se descarga material de limpieza al pozo de infiltración.</p> <p>El lodo deshidratado requiere que sea removido manualmente.</p> <p>Los pozos son susceptibles a fallas por rebales durante inundaciones.</p> <p>Los lodos fecales pueden contaminar las aguas subterráneas.</p> <p>La saturación del suelo puede provocar deslizamiento en zonas de ladera.</p>

Referencias:

OPS – CEPIS – OMS, GUÍA DE DISEÑO DE BAÑO CON ARRASTRE HIDRÁULICO Y BAÑO DE POZO ANEGADO, 2005

EAWAG- SANDEC – SANITATION SYSTEMS, Compendium of Sanitation Systems and Technologies , 2 008

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PUBLICAS VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BASICOS, Norma Boliviana NB 689.

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PUBLICAS VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BASICOS, Operación y Mantenimiento de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento, para poblaciones menores a 10 000 habitantes.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS

Anexo 1

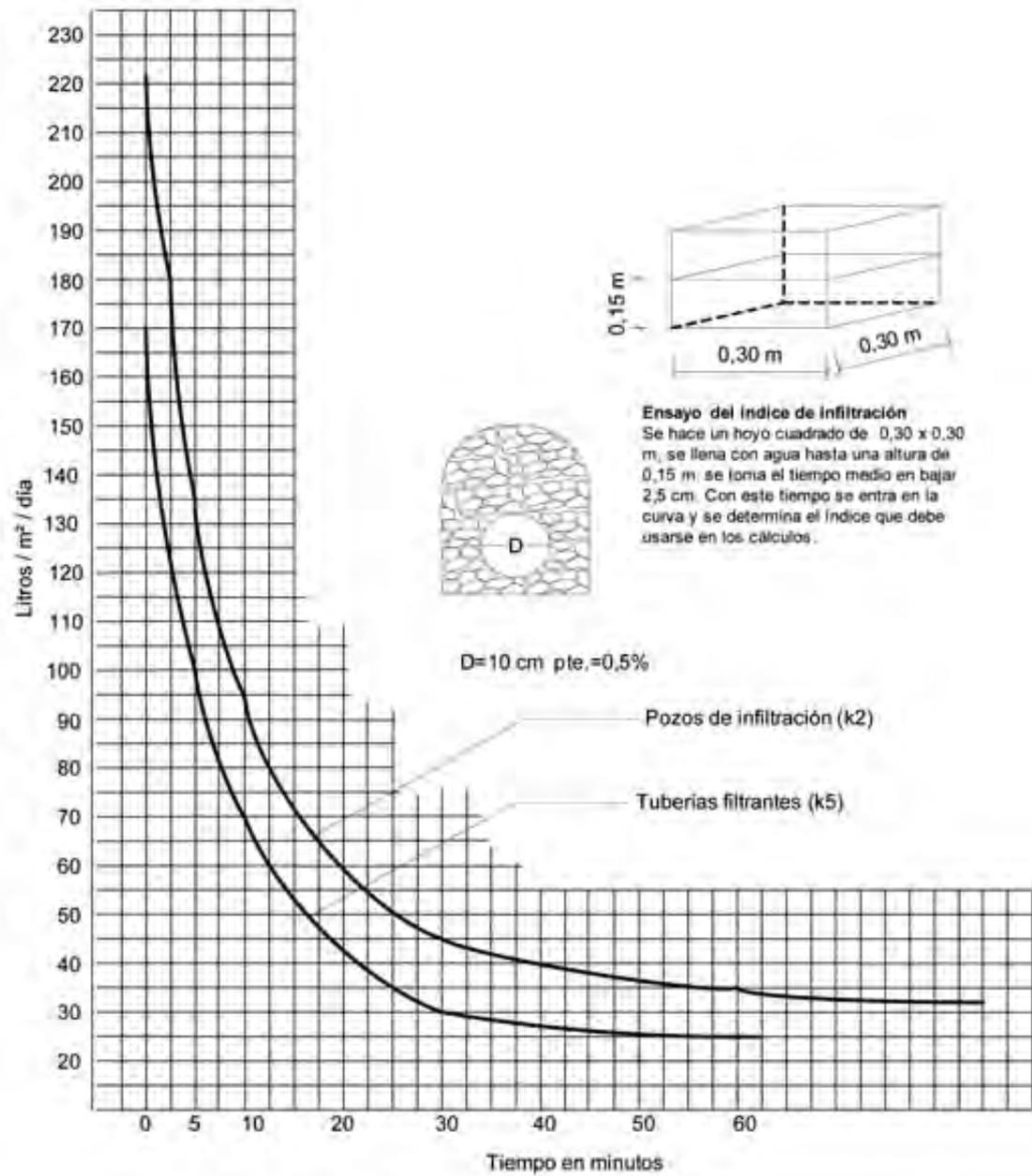


Gráfico 1.1 Tasa de infiltración

Anexo 2

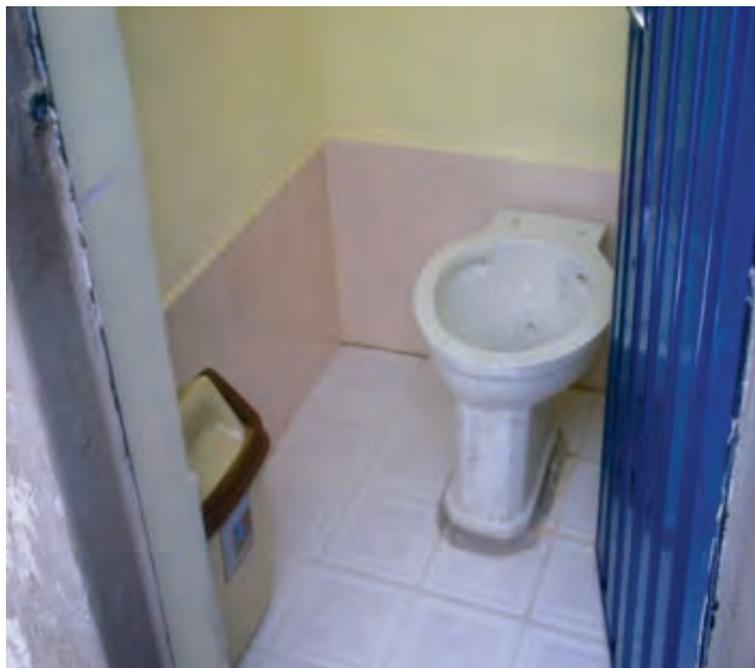


Foto 2.1 Baño simple con arrastre de agua

R.1		Baño seco ecológico de doble cámara y solar	Aplicable a: sistema 5	R.1
Nivel de empleo (+++) Rural dispersa (+++) Rural concentrada (++) Periurbana		Nivel de administración (+++) Familia (+++) Familia (+++) Familia		Entrada producto: <input type="checkbox"/> Heces fecales <input type="checkbox"/> Orina
				Salida del producto: <input checked="" type="checkbox"/> Abono <input type="checkbox"/> Fertilizante
Aplicable a zona: (++) Altiplano (++) Valles (++) Llanos				



Fig. 1. Baño seco ecológico

DESCRIPCIÓN

El baño seco ecológico de doble cámara es un sistema de disposición y deshidratación de excretas que separa la orina y las heces a través de un inodoro fabricado para este propósito. La separación líquido/sólido facilita la deshidratación y descomposición de las heces sin generación de olores. Para su operación no requiere el uso de agua, las heces se depositan en una de las cámaras de almacenamiento, mientras que la orina se recolecta en otro recipiente y/o es infiltrado en el suelo. La existencia de dos cámaras tiene por objetivo alternar el almacenamiento de las heces, durante 1 – 2 años, y facilitar su deshidratación y descomposición, a través de procesos biológicos aerobios, con ayuda de material secante. Se denomina ecológico porque se aprovecha los ciclos biológicos naturales para transformar las excretas y mejorar las condiciones para su aprovechamiento como acondicionador de suelo.

El uso del baño ecológico requiere el empleo de material secante después de cada deposición; la cal, ceniza, aserrín, tierra cernida y otros materiales similares son empleados para este fin. Las heces almacenadas en las cámaras, en ausencia de humedad (sin orina), se deshidratan más fácilmente, con la adición del material secante, alcanzando un contenido de humedad menor al 25%, transformándose, en el lapso de 1 a 2 años, en un material estabilizado, de color blanco beis, conformado por material grueso, escamoso o en polvo, dependiendo del secante empleado y/o del material de limpieza anal. El material secante permite, además de la reducción del contenido de humedad, la adsorción y aireación, creando las condiciones

para una descomposición aerobia y facilitando la labor de los microorganismos responsables de la estabilización de las heces.

La inactivación de los patógenos en las heces se logra por el aumento de temperatura en la cámara (mejor en verano que en invierno), disminuyendo el contenido de humedad, mejorando la exposición al sol y elevando el pH (preferible mayor a 9). El empleo de cal y ceniza como materiales secantes, que tienen un pH entre 12,4 - 12,8 (las heces frescas tienen un pH de 5 - 6), crean un ambiente básico (alcalino) favorable para la eliminación de microorganismos patógenos, la cal es un recurso natural abundante en el país. El empleo de material orgánico como papel, aserrín, madera, arbustos y similares, estimula la formación de compost permitiendo desarrollar mejores condiciones de ventilación y descomposición aerobia del material acumulado. Es recomendable que el **tiempo** de almacenamiento de las heces sea superior a 12 meses (1.5 – 2 años, OPS/OMS), a objeto de lograr un mejor grado de remoción de patógenos. Durante el tiempo de operación del baño ecológico, se debe mantener la separación líquido/sólido de las excretas, pues la mezcla de heces y orina, estimula la proliferación de olores y la permanencia de organismos patógenos (ver información sobre la Tecnología de Enterramiento).

El baño está compuesto básicamente por dos cámaras para el almacenamiento rotativo de las heces, un inodoro con desvío de orina, un contenedor portátil de orina o pozo de infiltración y un urinario. Como parte de la instalación sanitaria se tiene una tubería de ventilación y otra de evacuación de la orina, ver Fig 1,2. En un baño completo se puede incorporar un lavamanos y una ducha, dependiendo del diseño arquitectónico y la disponibilidad de instalaciones de agua potable.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

El baño ecológico se aplica tanto en zonas rurales dispersas/concentradas como en centros urbanos. La selección de esta tecnología depende de variables locales tales como:

- Condiciones climatológicas, temperatura, exposición solar, régimen de precipitaciones, Zonas de riesgo por desastres naturales por fenómenos hidrometeorológicos (inundaciones, deslizamientos), zonas de ladera.
- Condiciones de suelo, suelos rocosos o con nivel freático elevado, capacidad de infiltración de los suelos, permeabilidad, suelos rocosos y/o impermeables.
- Ambientales; disponibilidad de recursos hídricos, proximidad de las fuentes de agua superficial, subterránea, contaminación de acuíferos, contaminación de suelos. Escasez de recurso hídrico, poca disponibilidad de agua para consumo humano, efectos del cambio climático, zonas áridas, húmedas.
- Condiciones de desarrollo urbano, zonas de ladera, zonas de expansión que carecen de servicios de alcantarillado sanitario, zonas de inundación, infraestructura de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario y/o pluvial, etc.
- Condiciones socio – culturales; hábitos, actitudes, valores, prácticas, usos y costumbres respecto al uso del agua y condiciones de saneamiento.

- Economía; costos de inversión, aporte de la comunidad en mano de obra y/o materiales locales, etc.
- Marco institucional y sistema de monitoreo y evaluación.
- Mecanismo de recolección, transporte, tratamiento y/o disposición de lodos fecales tratados.

La selección de esta alternativa deberá ser consensuada con los beneficiarios, haciendo conocer sus ventajas y desventajas. Su aplicación requiere de la capacitación, conocimiento e involucramiento de los usuarios, desde la preparación del proyecto hasta la etapa de post construcción u operación, a través de prácticas en sitio y adaptación al cambio de hábitos que exige su uso. Para su selección final se deberá considerar todos los componentes del sistema, desde el tipo de inodoro, la disponibilidad de instalaciones o infraestructura de tratamiento de heces y lodos fecales, el vaciado y limpieza de las cámaras, la recolección de las heces tratadas, su post tratamiento (a nivel municipal o familiar), y/o su disposición final.

En el país se tienen muchas experiencias, con diferentes resultados, que han sido implementadas por Organizaciones No Gubernamentales, Gobiernos Municipales y otras instituciones. En el Anexo 1, se muestra un detalle de algunas de estas experiencias.

Preocupados por esta situación, los Gobiernos de todos los países, en un trabajo conjunto con diferentes instituciones y profesionales, vienen ejecutando proyectos ecológicos, los que son evaluados para su mejoramiento. En este sentido, los Baños secos, la disposición y empleo de las heces y orina se encuentra aún en etapa de investigación, motivo por el que a tiempo de optar en la utilización como abono, se recomienda emplearlo más que todo en jardinería y plantas ornamentales.

CRITERIOS DE DISEÑO

El diseño de los sistemas de baños ecológicos debe basarse en el análisis de riesgo tomando en cuenta los objetivos de salud definidos por las políticas públicas. La implementación de estos sistemas no solo debe estar dirigida a la provisión de instalaciones in situ apropiadas sino también, y fundamentalmente, al manejo y gestión de las excretas y lodos fecales incluyendo la recolección, transporte, tratamiento y su uso como fertilizante o acondicionador de suelo. Los objetivos de salud están relacionados a la reducción de riesgos asociados principalmente a la presencia de organismos patógenos presentes en las excretas. La OPS/OMS, fija como valores guía para heces tratadas y lodos fecales para su uso en la agricultura, un contenido de huevos de helmintos <1.0 /g de sólidos totales o < 1.0 /L de lodos fecales y E. coli $< 1\ 000$ g/de sólidos totales (E.coli $< 1\ 000/100$ ml de lodos fecales). Estos valores guía se fijan considerando el almacenamiento a nivel familiar como un tratamiento primario. A nivel municipal, considerando coberturas más grandes, se requerirá de un sistema de tratamiento secundario que puede consistir en la elevación del pH (tratamiento alcalino) y/o compostaje para su reuso en la agricultura.

La Tabla 1, presenta un resumen de las recomendaciones de la OPS/OMS para el tratamiento de heces deshidratadas y lodos fecales para su uso a nivel familiar y municipal.

Tabla 1. Recomendaciones para el almacenamiento de heces deshidratadas y lodos fecales antes de su uso a nivel familiar o municipal

Tratamiento	Criterios de diseño	Comentarios
Almacenamiento en temperatura ambiente 2-20 C	1.5 – 2.0 años	Se eliminan bacterias patógenas, virus y protozoarios a niveles bajos de riesgo. Algunos huevos de organismos patógenos pueden persistir en menor número
Almacenamiento en temperatura ambiente > 20-350 C.	>1.0 año	Reducción substancial e inactivación de virus, bacterias y protozoarios así como huevos de organismos patógenos (nematodos, esquistosomiasis). Sobrevivencia de algunos huevos de Áscaris.
Tratamiento alcalino (cal)	pH >9 >6meses	Si la temperatura es >350 C y el contenido de humedad <25%, un bajo pH y/o presencia de material húmedo, prolongará el tiempo de inactivación.

Fuente: OPS/OMS, 2006. Vol. IV. Excreta and Greywater use in Agriculture

Cálculo del tiempo de llenado

Normalmente cada cámara tiene forma rectangular con un volumen de 600 a 700 litros y una altura de 0,6 a 0,7 m. El tiempo de llenado se completa cuando los sólidos ocupan el 90% de la altura.

Considerando una cámara de 0.70 m³ (1,0 x 1,0 x 0,70 m), el cálculo del tiempo de llenado se puede establecer considerando un volumen neto de 300 L, con una altura útil de 0,63 m, (1,0 x1, 0 x 0.13 + (1/3) x 1,0 x1, 0 x 0,50) que representa una forma cubica y piramidal aproximada, tal como se presenta cuando no existe el reacomodo de los biosólidos.

$$T = \frac{V_c}{V_p \times N}$$

Donde:

T = Tiempo de almacenamiento/llenado (meses)

V_c = Volumen neto de 300 L para una cámara de 0.70 m³

V_p = Volumen de producción de heces incluyendo el material secante (L/hab. mes)

N = Numero de miembros de la familia (hab.)

El volumen de producción de excretas se presenta en al Tabla 1.

Tabla 1. Producción de heces y orina

Descripción	Unidad	Cantidad
Producción de heces	L/hab.mes	5,13*
Producción de orina	L/hab. mes	33 - 42

*Promedio. Corresponde a una producción de 171 g/d que incluye material secante, para un tiempo de deshidratación mayor a 1 año (Sumaj Huasi).

En la tabla 2, se muestra los tiempos de llenado, según el número de personas y sin considerar el esparcido o reacomodo de los biosólidos.

Tabla 2. Tiempo de almacenamiento/llenado en la cámara del Baño Ecológico

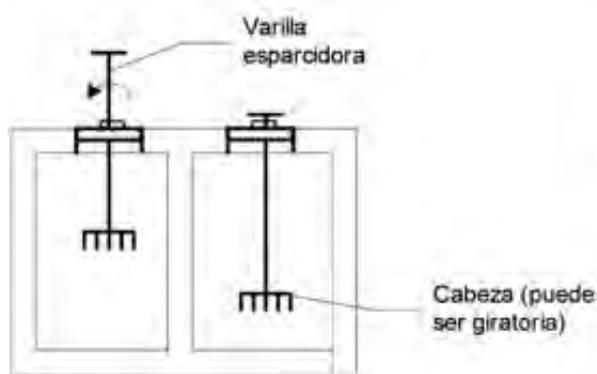
Número de habitantes	3	4	5	6
Tiempo (mes)	19,50	14,60	11,70	9.70

Para una mejor inactivación de patógenos el tiempo de almacenamiento de lodos deberá ampliarse al menos a 1.5 – 2.0 años. Dependiendo de las condiciones locales y socioeconómicas se podrá ampliar el volumen de llenado que permita un tiempo de almacenamiento mayor a 1.5 años. Para una familia de 5 personas se obtiene un volumen de 1.2 x 1.20 x 0.70 m, con un tiempo de llenado de 16.65 meses.

Tabla 3. Características físicas del baño ecológico de doble cámara

Tiempo almacenamiento (días)	Contenido humedad (%)	Temperatura (°C)
365 a 720	35 a 20	Variable según la zona

En caso de aplicar prácticas regulares de reacomodo o esparcido de los biosólidos, el tiempo de llenado será mayor al indicado en la Tabla No.2. Para una buena práctica del reacomodo se recomienda utilizar una varilla metálica como se muestra en la Fig. 3.



Planta

Fuente: Water for People

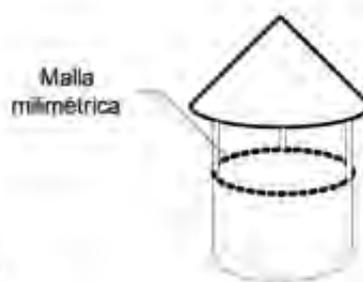


Fig.4. Sombrero de malla

Fig. 3. Varilla para reacomodo de heces fecales

Producción de orina:

La producción de orina varía de 400 a 500 litros persona año (33 a 42 L/hab. mes), la misma que puede ser almacenada en bidones para su recolección, almacenamiento posterior y reutilización. El tiempo de llenado de un bidón de 20 L, para una familia de 5 personas, es aproximadamente de 4 a 6 días. La orina también puede disponerse a través de la infiltración en el suelo (ver la tecnología de Baño con Arrastre de Agua). Uno de los potenciales beneficios de la orina es su alto contenido de nitrógeno que la hace factible para su reuso en la agricultura. Un periodo de almacenamiento de 2-3 meses es suficiente para su aplicación en cultivos.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Las paredes de las cámaras pueden ser construidas de adobe, piedra, ladrillo, revocadas interiormente y exteriormente; la solera o piso deberá ser rígida e impermeable para evitar la humedad e infiltración de aguas. En zonas inundables, el piso de la cámara puede ser elevado a un nivel conveniente y protegido de las aguas, a mayor cota que el nivel de aguas máximas.

La arquitectura interior y exterior obedece a la comodidad del usuario y seguridad de la infraestructura, el baño incluye el inodoro, urinario, lavamanos y contenedor de cenizas. El ancho de la puerta de ingreso es mayor a 0,75 m, con giro preferente hacia adentro (para contrarrestar los efectos del viento). El baño puede completarse con una ducha independientemente de la disposición básica del baño. Dependiendo del proyecto arquitectónico, el baño ecológico puede ser parte del diseño interior de la vivienda, y completarse con una ducha, lavamanos, tina de baño, etc.

La tubería de ventilación incluye un sombrerete en su extremidad superior, ver Fig.4, la cual se ubica externamente y pintada de negro. La ventilación puede ser de PVC o calamina plana, empotrada directamente en forma vertical sobre la losa de la cámara, ver Fig. 5. El diámetro varía entre un rango de DN 100 (4") – DN 150 (6"), sobresaliendo el techo en 0,50 m. La tubería de ventilación termina en un sombrerete hecho de calamina galvanizada o de PVC, que incluye una malla milimétrica retentora de insectos. En caso de existir construcciones aledañas se debe considerar la altura necesaria que facilite el paso del viento a través del sombrerete.

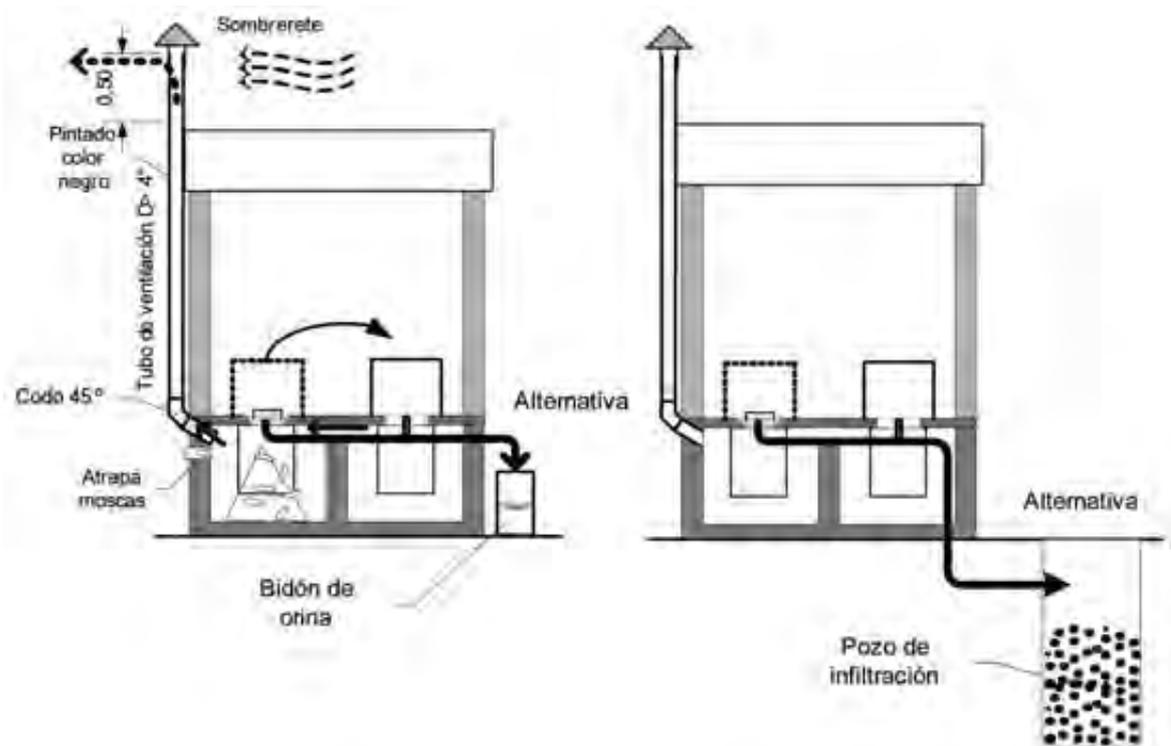


Fig. 5. Opciones del desvío de orina

La ventilación tiene el objetivo de acelerar la deshidratación de las heces fecales y permitir el flujo del aire y la aireación, creando un gradiente de temperatura (entre el ambiente interior y exterior). La tubería de ventilación también tiene la función de capturar insectos (moscas) que pudieran ingresar a la cámara, siendo retenidos en la malla del sombrero. En el Anexo 1, Grafico 1.1, se muestra la curva de pérdida de humedad con el tiempo.

Las gradas de acceso al baño deben tener contrahuellas de 0,16 – 0,18 m y huellas 0,30 m, garantizando el desplazamiento y comodidad de niños y ancianos. Dependiendo de la disponibilidad de espacio, se pueden dar otras soluciones arquitectónicas compatibles con el entorno y la comodidad de los usuarios.

Las tapas de las cámaras, para el retiro de los biosólidos, pueden ser hechos de chapa de metal u otro material liviano, con dimensiones de 0,40 x 0,50 m (de modo que se permita el paso de una pala).

El inodoro ecológico, puede ser fabricado de fibra de vidrio, porcelana, cemento y/o madera, que incluya un separador de orina. La distancia entre el perímetro inferior del baño ecológico y la pared interior de la cámara deberá ser la mayor posible (lo más abierta) a fin de que las heces no tengan la posibilidad de adherirse a estas. Existen dos modelos de inodoros, el inodoro tipo convencional, para sentarse, y el inodoro tipo taza turca para acucillarse, ver Anexo 2, fotos 2.1, 2.2, 2.3, 2.4. El orificio del pipi ducto (ver Fig. 1) deberá permitir el desalojo del líquido en 5 segundos como máximo a fin de evitar el taponamiento por los sólidos en solución de la orina y/o el polvo exterior acumulado. La tubería de drenaje puede ser de PVC, con un diámetro mayor o igual a DN 40 (1 ½") con una pendiente $\geq 2\%$.

En la Tabla 4, se muestran los costos referenciales en bolivianos de baños ecológicos construidos en Bolivia. Los costos dependen del acabado interior y exterior del Baño.

Incluyen la adquisición de un inodoro ecológico, hecho de porcelana, la adquisición e instalación de una puerta y otros materiales pétreos. Es aporte del usuario las tareas de excavación así como la mano de obra no calificada.

Tabla 4. Costos directos referenciales (Bs)

Caseta de adobe cubierta de paja/otros similares	Caseta de adobe cubierta calamina buen acabado	Caseta de ladrillo cubierta calamina buen acabado
2 700	3 300	3 200

Variantes del baño ecológico

Baño ecológico con calentador solar

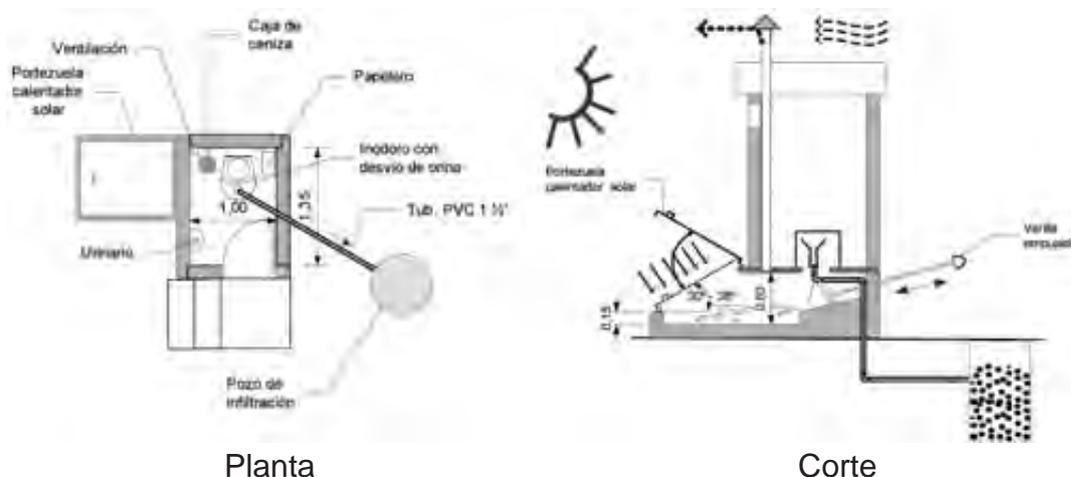


Fig. 6. Baño ecológico con calentador solar de una cámara



Fig. 7. Baño ecológico con calentador solar de dos cámaras

El baño ecológico con calentador solar, ver Fig.7, incorpora al baño ecológico de doble cámara una cubierta metálica de forma inclinada, y orientada hacia el sol, que cubre una parte o el 100% de la cámara de almacenamiento de heces. La cubierta metálica, pintada de negro, cumple la función de un panel solar, elevando la temperatura de los sólidos y acelerando el proceso de deshidratación.

El sistema está básicamente compuesto por una o dos cámaras, Fig. 6; Fig. 7, cada una de las cuales tiene una cubierta metálica inclinada (calamina plana u otro material pintado de negro) donde se instalan las portezuelas de ingreso. La cubierta metálica está orientada hacia el sol en un ángulo de 30° - 38°. Toda la cubierta, incluyendo la portezuela, es hermética a fin de evitar el ingreso del agua durante la época de lluvias. Todos los demás elementos son similares a los requeridos por el baño ecológico de doble cámara. Similar al empleo en los baños ecológicos de doble cámara, esta tecnología requiere la aplicación de material secante. En Bolivia, esta tecnología aún se encuentra en la fase de investigación y desarrollo.

Tabla 5. Características físicas del baño ecológico con panel solar

Tiempo almacenamiento (días)	Contenido humedad (%)	Temperatura (°C)
365 a 720	≈ 30 a 15	> Que la temperatura ambiente, según la zona.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Como parte del proceso de selección de tecnología, se requiere que todos los usuarios conozcan y comprendan el funcionamiento, uso y mantenimiento del baño ecológico. Las tareas cotidianas que deben ser llevadas a cabo son las siguientes:

- Antes de la operación inicial y su uso, disponer de unos 5 cm de material secante como cama o lecho soporte de la cámara.
- Verter una taza de material secante después de cada uso/deposición en una proporción equivalente al volumen de heces.
- Mantener lleno el recipiente del material secante, para lo cual se debe preparar y almacenar con anticipación el material seleccionado (virutilla, aserrín, cal, tierra cernida, etc.).
- Hacer correr regularmente un chorro de agua por el pipi ducto/urinario para su limpieza.
- Realizar la limpieza diaria del interior del inodoro con cepillo seco y trapo húmedo. El papel higiénico u otro material de limpieza, se pueden disponer en la cámara o depositar en un recipiente (papelero).
- Una vez llenada una cámara se cubre esta con material secante, para luego proceder al traslado del inodoro ecológico, a la segunda cámara en forma alternada. El material retirado puede ser enterrado, empleado como acondicionador de suelos pobres y/o usado como abono orgánico previo tratamiento (ver tecnología de tratamiento de lodos fecales). El manejo requiere la precaución mínima sanitaria, como se explica en la tecnología de Enterramiento. La orina se recolecta en bidones o recipientes herméticos para su almacenamiento y reuso como fertilizante (previo proceso de almacenamiento de 2 – 3 meses). En caso de no ser posible su reuso, se puede disponer directamente en el suelo a través de un pozo de infiltración.

Tabla 6. Características Físicas del baño ecológico con panel solar

Tiempo almacenamiento (días)	Contenido humedad (%)	Temperatura (°C)
365 a 720	≈ 30 a 15	> Que la temperatura ambiente, según la zona.

Tabla 7. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Uso	<p>Verter a la cámara o papelerero el material de limpieza anal, papel, piedra, chala u otro.</p> <p>Vaciar una taza de material secante después de cada uso, cuidando de no verter al pipi ducto.</p> <p>Tapar el inodoro.</p> <p>Lavarse las manos, con agua y jabón, después de usar el baño.</p>
Limpieza	<p>Limpiar el área adyacente al baño, quitando plantas, hierbas, piedras y otros materiales extraños.</p> <p>Limpiar el canal de drenaje de aguas pluviales que rodea al baño.</p> <p>Limpiar el inodoro y pipi ducto aplicando un trapo húmedo, añadiendo jabón o detergente, evitando el ingreso de agua a la cámara.</p> <p>Controlar el nivel del llenado del bidón de orina, si corresponde.</p>
Reacomodo de los sólidos (heces)	Si se posee la varilla esparcidora, distribuir o reacomodar los biosólidos dentro de la cámara.
Retiro del material almacenado	Una vez que se llenan las dos cámaras, retirar el material de la más antigua para su enterramiento y/o disposición final. La portezuela de la otra cámara se clausura con estuco o barro.
Reparaciones	Reparar los daños en la estructura, rajaduras, sistema de drenaje de aguas pluviales, etc.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Costos reducidos.</p> <p>Requiere de un área pequeña para su construcción</p> <p>No precisa de agua para su funcionamiento.</p> <p>La doble cámara permite un uso indefinido, en forma alterna.</p> <p>Construcción, operación y mantenimiento con materiales y mano de obra locales.</p> <p>No existen olores si se usa correctamente.</p> <p>Puede ser integrada a una vivienda existente.</p> <p>Reduce considerablemente los agentes patógenos.</p> <p>Su implementación es adecuada en zonas inundables o zonas de laderas.</p> <p>Evita la contaminación del medio ambiente.</p> <p>Se asegura mayor inocuidad de las heces en las letrinas ecológicas con panel solar.</p> <p>Un tiempo de almacenamiento prolongado 1.5 – 2.0 años limita los riesgos de persistencia de patógenos.</p>	<p>Requiere de la aceptación del usuario.</p> <p>Requiere capacitación familiar, antes, durante y después de la finalización de la etapa de construcción.</p> <p>Requiere del uso correcto del baño y cambio de hábitos, (disciplina).</p> <p>Requiere establecer el mecanismo institucional del manejo y disposición final de las heces tratadas así como del sistema de recolección y/o disposición de la orina.</p> <p>Requiere de la disponibilidad y manejo constante del material secante (preferiblemente cal o ceniza).</p> <p>Por el tiempo largo de alternancia, cambio de las cámaras para el retiro de las heces deshidratadas, el usuario puede olvidar su manejo adecuado.</p> <p>La manipulación no protegida puede ser un riesgo sanitario.</p> <p>Para baños ecológicos con panel solar, se requiere verificar la ubicación del baño con relación a la exposición solar.</p> <p>Dependiendo del tiempo de almacenamiento, puede requerir de un tratamiento posterior (secundario) para su uso irrestricto en la agricultura.</p>

Referencias:

Uno Winbland, Esrey,s,etal. *Saneamiento Ecologico,Tr de la 1ra. Edición en ingles Ecological Sanitation,Adi, Estocolmo 1988.*

GESEE (Global Ecovillage Educators for Sustainable Eart), *Tecnología Apropiaada,2009*
Zoomzap, *Manual del Sanitario Ecológico Seco, 200.*

OMS, (*Asesoría Ing. Daniel Burgos*) *Manual de Construcción y Uso y Mantenimiento Sanitario Ecológico 2002*

CDC, EMORI University, BM, Fundación Sumaj Huasi, *Laboratorio Parasitología IBBA, Bolivia, Análisis de Biosólidos en Baños Ecológicas, 2007.*

CDC, EMORY University, BM, Fundación Sumaj Huasi, *Informe para UNICEF Acerca de los Resultados Preliminares de la Evaluación de Proyectos de Baños Ecológicos, 200.*

Elizabeth Tilley, Cristophluthi, Antoine Morel, Chris Zurbrug y Roland Shertenleib, Eawag Sandec – *Sanitation Systems Compendium of Sanitation Systems and Technologies*, 2005.

Fundación AguaTuya, *Manual del Usuario, Manual de Construcción Baño Ecológico Seco*, 2008.

UNICEF, *Guia Perfiles Afinados de Proyectos de Agua y Saneamiento con tecnologías Apropriadas*, 2010.

José M. Huanca F., *Construcción de baños ecológicos*, jose_mariahf@yahoo.es

Fábricas de inodoros ecológicos

La Paz: Sumaj Huasi Telf. 2493947 cel. 72005025

Oruro: CERAPAZ Telf. 2895198 cel. 71232616

Cochabamba, fabrica Nacional Sanitarios GANDI, 4722801- 4284829

MOVACOM: Alto de La Paz: Telf. 2844722 cel. 71992717

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS

Anexo 1

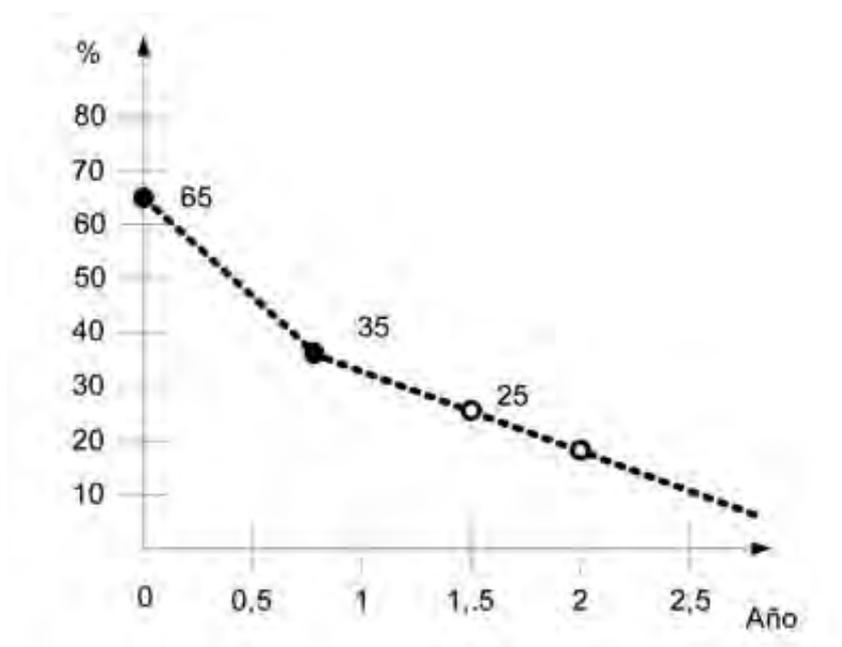


Gráfico 1.1 Pérdida de humedad. Baño ecológico con cámara doble

Anexo 2



Foto 2.1 Inodoro de porcelana p/sentarse



Foto 2.2. Inodoro de fibra de vidrio p/sentarse



Foto 2.3. Inodoro de fibra de vidrio tipo turco.



Foto 2.4. Inodoro de cemento tipo turca.



Foto 2.5. Localidad Mantecani – La Paz



Foto 2.6. Localidad – Distrito 7 El Alto



Foto 2.7. Localidad Ciudad - Cochabamba



Foto 2.8. Escuela de Puka Pampa - Cbba.



Foto 2.9 Baño escolar con panel solar
Localidad: Pallina Laja – Mun. Laja - La Paz



Fig. 2.10 Baño con panel solar
domiciliario



Foto 2.11 Baño ecológico escolar
Localidad: Gualaguagua – Mun. Reyes - Beni

Anexo 2

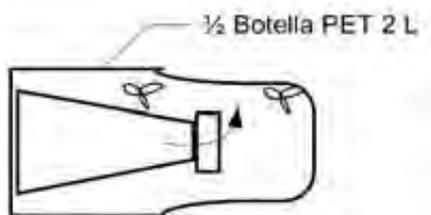
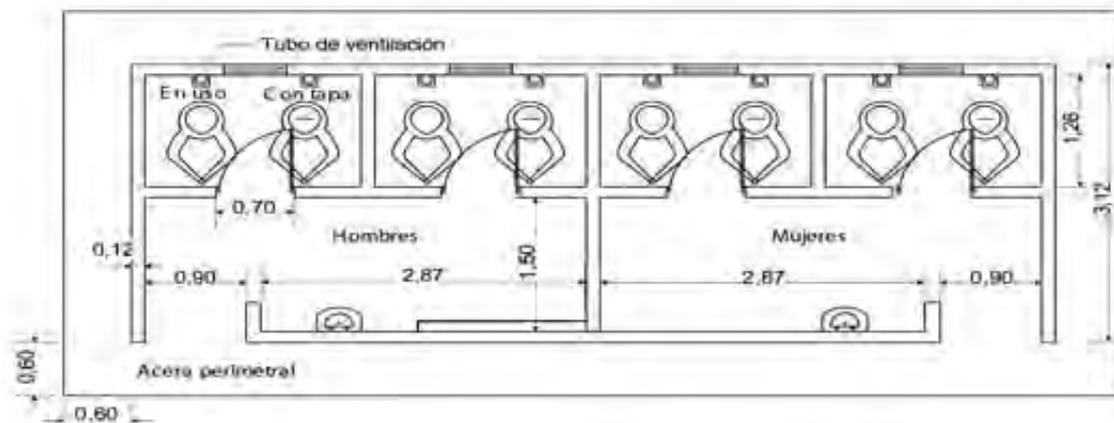


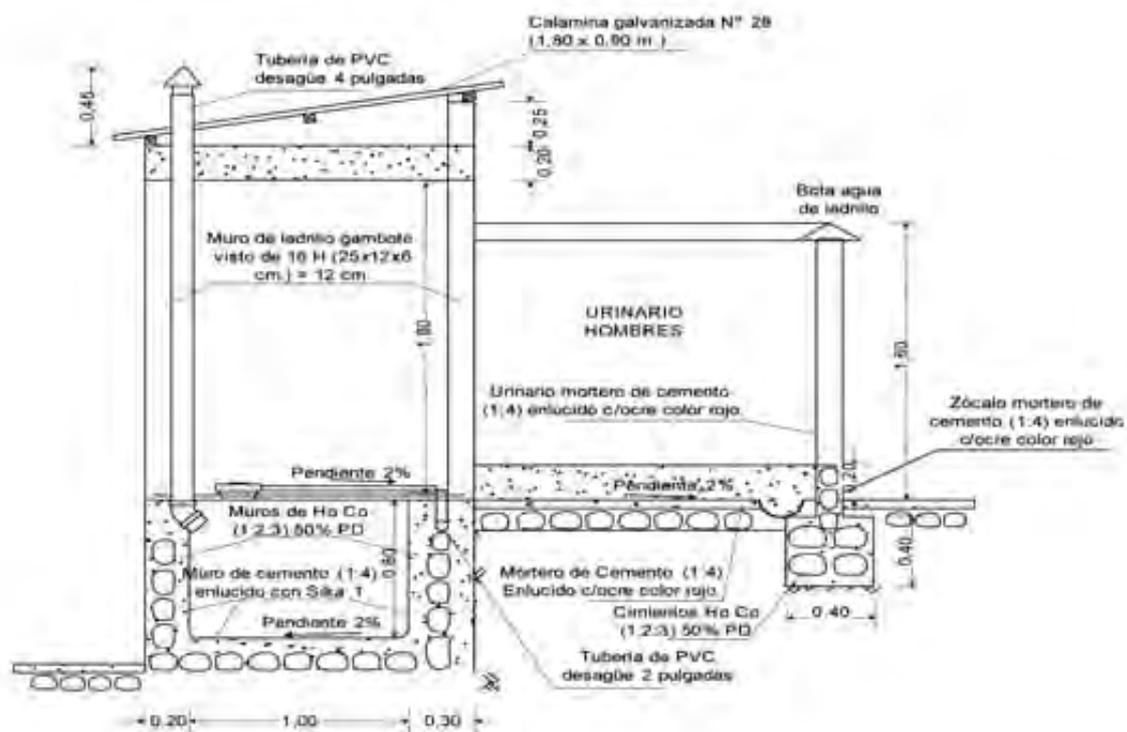
Fig. 2.1 Atrapa moscas

Anexo 3. Planos de baño ecológico escolar

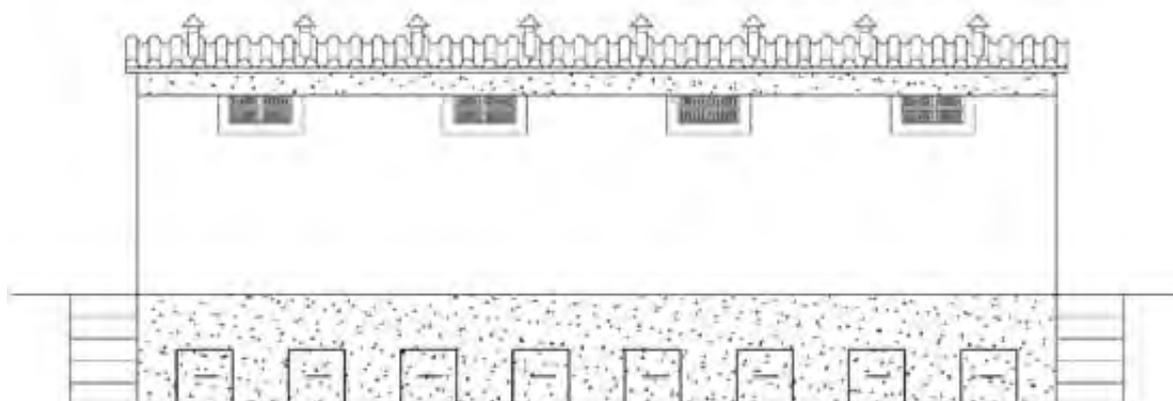
Gentileza de UNICEF

UNIDADES: m





ELEVACIÓN PRINCIPAL



ELEVACIÓN POSTERIOR

R.2		Baño seco ecológico de contenedor móvil	Aplicable a: Sistema 6	R.2
Nivel de empleo <input type="checkbox"/> Rural dispersa <input checked="" type="checkbox"/> Rural concentrada <input checked="" type="checkbox"/> Periurbana		Nivel de administración <input type="checkbox"/> Familia <input checked="" type="checkbox"/> EPSA - ME <input checked="" type="checkbox"/> EPSA -ME		Entrada producto : <input type="checkbox"/> Heces fecales <input type="checkbox"/> Orina
				Salida del producto : <input checked="" type="checkbox"/> Heces pre trat. <input type="checkbox"/> Fertilizante
Aplicable a zona: <input checked="" type="checkbox"/> Altiplano <input checked="" type="checkbox"/> Valles <input checked="" type="checkbox"/> Llanos				

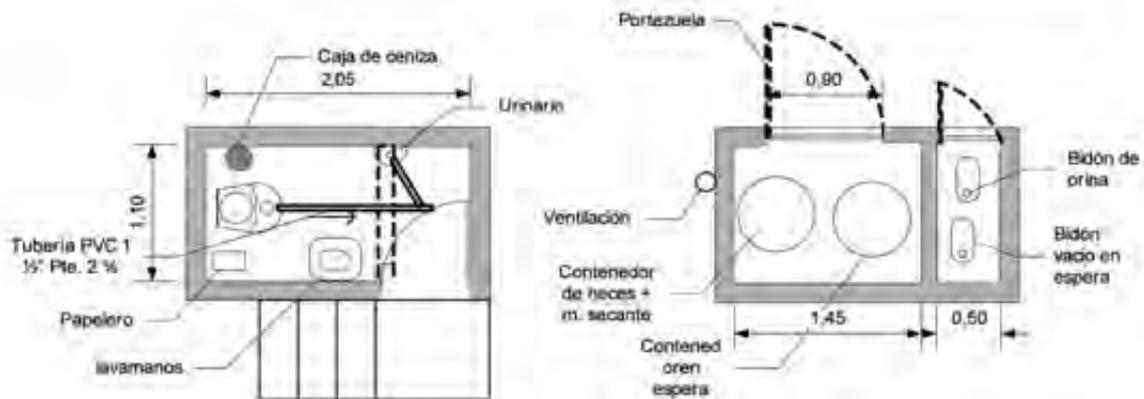


Fig. 1. Baño Ecológico de contenedor móvil

DESCRIPCIÓN

El baño ecológico con contenedor móvil es un sistema de disposición de las excretas que separa la orina y las heces por medio de un inodoro fabricado para este propósito. La separación líquido/sólido facilita la deshidratación de las heces y evita la generación de olores. Para su operación no requiere de agua, las heces fecales se evacuan a un contenedor móvil donde se almacenan durante 3 – 4 meses, mientras que la orina se recolecta en otro recipiente y/o es infiltrado en el suelo. Durante el tiempo de almacenamiento de las heces, se tiene una descomposición y deshidratación parcial de los lodos fecales, a través de procesos biológicos aerobios, con la ayuda de material secante. Se denomina ecológico debido a que aprovecha los ciclos biológicos naturales para transformar las excretas y mejorar las condiciones para su aprovechamiento como acondicionar de suelo, posterior tratamiento y/o disposición final.

El sistema, ver Fig.1, está básicamente compuesto por dos cámaras, una para alojar los contenedores móviles de heces y otra similar para la orina, un inodoro con desvío de orina asentado en forma fija, urinario, depósito para material secante y accesorios como el tubo de ventilación y un atrapa moscas. Las dos cámaras alojan cada una dos contenedores móviles de plástico de 100 -20 L de capacidad respectivamente. Para la evacuación de la orina se instalan tuberías de PVC con diámetro mayor a DN 40 (1 ½ "). Para un baño completo se incorpora ducha y lavamanos, tomando en cuenta el mejor diseño arquitectónico y la disponibilidad de instalaciones de agua potable. Como material secante se usa aserrín, este material permite la adsorción, aireación, reducción del contenido de humedad de las heces para su aprovechamiento como material de compostaje.

Por el poco tiempo de almacenamiento, 3-4 meses, requiere de esquema de recolección, transporte, tratamiento y disposición de las heces deshidratadas y orina a nivel municipal, que puede ser prestada por una entidad pública y/o privada (microempresa) sujeta a regulaciones ambientales.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Se aplican los mismos criterios de selección correspondientes a los baños ecológicos de doble cámara, tomando en cuenta las siguientes restricciones:

- No es aplicable en zonas rurales dispersas o concentradas donde no sea factible la recolección regular del material almacenado y/o no se cuente con un sistema de tratamiento posterior.
- Su aplicación es más apropiada en zonas urbanas - periurbanas o zonas de expansión de centros urbanos.
- Se requiere de la disponibilidad de aserrín, u otro material orgánico como secante, tomando en cuenta que las heces serán destinadas al compostaje y/o lombricultura. En caso contrario podrá preverse otro tipo de material secante, de acuerdo al tipo de tratamiento posterior.
- Solo se puede implementar esta tecnología, donde sea factible la conformación de una entidad responsable de la gestión de las heces deshidratadas y la orina: micro empresa local, EPSA, asociación de usuarios o municipio (a nivel descentralizado) que sea responsable de la recolección, transporte, tratamiento y disposición final, en condiciones de manejo sostenible y que cuente con disponibilidad de infraestructura y equipamiento.

La selección de esta alternativa deberá ser consensuada con los beneficiarios, haciendo conocer sus ventajas y desventajas. La adaptación y conocimiento requiere de capacitación **antes, durante y después de la construcción**, con prácticas en sitio, de manera de adaptarse al uso correcto del baño, cambio de hábitos y la disciplina que exige su empleo.

Se debe tomar en cuenta que el servicio de manejo, disponibilidad y transformación de la heces y la orina implica unos costos de O&M los mismos que pueden ser determinados en consenso con los beneficiarios. En la descripción de la tecnología de manejo de lodos fecales y orina, se describen todas las características, físicas, químicas y biológicas de las heces y de la orina así como su manejo y aprovechamiento final. La transformación de las excretas en abono o fertilizante (biosólidos) corresponde a la etapa final del ciclo ecológico de la gestión de lodos fecales.

La práctica en Bolivia es aún experimental, estudios piloto se desarrollan en las zonas periurbanas de las ciudades de El Alto (Distrito 7) y otra en la ciudad de Cochabamba (La Maica), todos ellos todavía en la etapa de estudios piloto.

La recolección, transporte y disposición final de las heces deshidratadas es llevada a cabo por una micro-empresa local, la misma que se encuentra en etapa de funcionamiento experimental, por lo que aún no se tienen tarifas y otros indicadores de sostenibilidad.

CRITERIOS DE DISEÑO

Al reducirse los tiempos de almacenamiento, los riesgos asociados al manipuleo del material deshidratado son trasladados al personal de la entidad responsable de la gestión de los lodos fecales, producidos después del tiempo de almacenamiento (2-3 meses).

Los riesgos asociados con el manipuleo de las excretas están relacionados con la recolección de los contenedores móviles de heces y orina, su transporte, tratamiento y disposición final, tareas que deben ser cumplidas sin afectar la salud pública ni el medio ambiente, ver tecnología de tratamiento de lodos fecales.

Cálculo de tiempo de llenado

El cálculo se realiza para el llenado de un contenedor portátil de heces de 100 L de capacidad.

$$T = \frac{V_c}{V_p \times N}$$

Donde:

T = Tiempo (meses)

V_c = Volumen de heces que se llena al 75 % de capacidad del contenedor (L)

V_p = Volumen de producción heces mas material secante (L/hab. mes), Tabla 1.

N = Numero de miembros de la familia (hab.)

Tabla 1. Producción de heces y orina

Descripción	Unidad	Cantidad
Producción de heces	(L/hab. mes)	5,13 *
Producción de orina	(L/hab. mes)	33 a 42

*Promedio investigaciones en el país incluye material secante (Sumaj Huasi)

El contenido de humedad disminuye en un 5 -10 %, asimismo se produce una reducción del volumen de heces.

En la Tabla 2, se muestra los tiempos de llenado del contenedor de 100 L, según el número de habitantes.

Tabla 2. Tiempo de llenado del contenedor

Número de habitantes	3	4	5	6
Tiempo (meses)	5	3,65	2,92	2,44

El tiempo de llenado de un bidón de orina de 20 L de capacidad, para una familia de 5 habitantes, es aproximadamente de 4 a 6 días (para una producción de acuerdo a la Tabla 1). Generalmente en cada baño se disponen de dos bidones.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

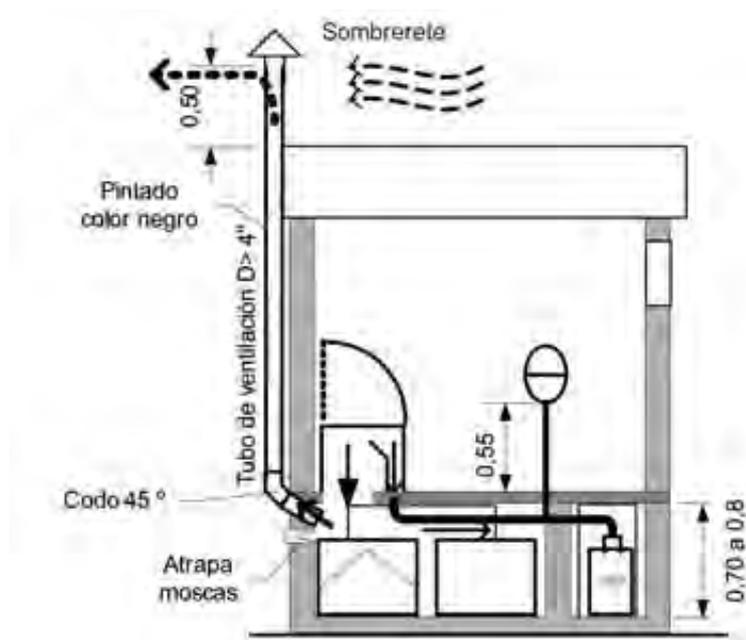


Fig. 3. Corte 2

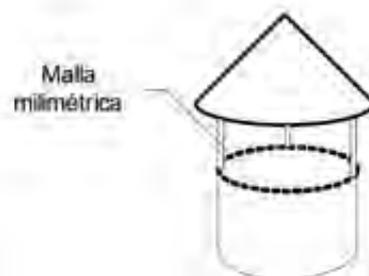


Fig. 4. Sombrero

La arquitectura interior y exterior obedece a la comodidad del usuario y seguridad de la infraestructura, en el espacio de uso se considera el inodoro, urinario, lavamanos, contenedor de ceniza y de papel higiénico. Dependiendo del proyecto arquitectónico el baño ecológico puede ser parte del diseño interior de la vivienda, y completarse con una ducha, lavamanos, tina de baño, etc. Los detalles constructivos, como las gradas, puertas, así como la instalación de la tubería de ventilación, pipi ducto, inodoro ecológico, etc. son similares a los baños ecológicos de dos cámaras.

El contenedor más adecuado para el almacenamiento de heces es de plástico, bidones de 100 L, también pueden emplearse contenedores de metal, (la mitad de un turril de 200 L), ambos tipos son provistos de agarraderas para su fácil transporte. La rotación o cambio de posición de los contenedores deberá ser hecha por el servicio de recojo del material almacenado (heces y orina) y dependerá del uso y de la frecuencia de la recolección. Para el recojo de la orina, se utilizan bidones de 20 L, generalmente envases de plástico, que pueden ser transportados por una persona.

En la Tabla 3 se muestra los costos referenciales (en Bs.) para baños ecológicos con contenedor móvil. Estos costos dependen del acabado de las mismas e incluyen la instalación de un inodoro ecológico de porcelana, puertas y otros materiales pétreos. No incluyen los costos de excavación y mano de obra no calificada que es aporte de los usuarios.

Tabla 3. Baño ecológico contenedor móvil. Costos directos referenciales (Bs)

Caseta de adobe con cubierta de paja/otro material natural	Caseta de adobe con cubierta de calamina buen acabado interior/ exterior	Caseta de ladrillo con cubierta de calamina con buen acabado interior/exterior
3 500	3 800	4 000

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Con carácter preventivo, se requiere que todos los usuarios, comprendan bien del funcionamiento, uso y mantenimiento del baño ecológico móvil, las actividades cotidianas se indican en la Tabla 4:

Si la alternativa es tratar las heces deshidratadas como material para compostaje, vaciar una taza de material secante consistente en aserrín o material orgánico. En esta opción no puede emplearse ceniza o cal, que eleva el pH, pues la tecnología del compostaje/lombricultura exige un pH de 6.7-7.2 para su transformación en humus. Si otra opción es transportar el material almacenado con destino a otro sistema de tratamiento, como lechos de secado, enterramiento, disposición en relleno sanitario, etc. puede emplearse cualquier otro tipo de material secante.

El pipi ducto y urinario requiere de un chorro de agua para su limpieza rutinaria. El recipiente de material secante siempre debe estar lleno, este material debe ser preparado periódicamente y almacenado en forma permanente para su uso.

Tabla 4. Actividades Principales de Operación y Mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Uso	<p>Verter al inodoro, el material de limpieza anal (papel higiénico, corriente).</p> <p>Echar una taza de material secante después de cada uso, cuidando de tapar el pipi ducto. Emplear aserrín, para el posterior uso de las heces como material de compostaje, u otro material de acuerdo al tipo de tratamiento posterior de las heces.</p> <p>Lavarse las manos con agua y jabón después de cada uso.</p> <p>Preparar y almacenar material secante para su disponibilidad en todo momento.</p>
Limpieza	<p>Limpiar el área adyacente al baño, retirando plantas, hierbas, arbustos, piedras y otros materiales extraños.</p> <p>Limpiar el canal de drenaje de aguas pluviales que rodean el baño.</p> <p>Limpiar el inodoro y el pipi ducto con trapo húmedo y jabón, (evitando que ingrese agua al interior de la cámara).</p> <p>Verter un chorro de agua al pipi ducto y urinario para su limpieza rutinaria.</p>
Controlar el nivel de llenado de los contenedores.	<p>Verificar mensualmente el nivel de material almacenado en los contenedores móviles de heces y orina.</p>
Recojo de los contenedores de heces.	<p>Una vez que se tenga lleno un 75% del contenedor de heces en uso, la familia deberá esperar el recojo y acomodarse al cronograma previsto por parte de los encargados del servicio de recojo de las heces y la orina y reemplazar el contenedor lleno por el vacío. En caso necesario, la familia podrá realizar la rotación de contenedores para lo cuál deberá ser capacitada y dotada de materiales y equipo de trabajo (usar barbijo y guantes para prevención sanitaria).</p>
Protección interna del contenedor de heces	<p>Según la practica observada, es recomendable forrar el interior de los contenedores de heces con papel, preferiblemente con bolsas de cemento vacías, a objeto de evitar la adherencia de las heces frescas en las paredes del contenedor.</p>
Recojo de los bidones de orina	<p>Una vez lleno uno de los bidones es preciso el cambio por el bidón vacío y la recolección del bidón por el sistema de recojo.</p> <p>Es recomendable poseer más de 2 bidones, tomando en cuenta que la orina no contamina y no tiene olores si se conserva el bidón hermético, sin contacto con el aire. Es la actividad que requiere mayor atención.</p>
Reparaciones	<p>Reparar los daños en la estructura, rajaduras, probable ingreso de agua en época de lluvias, etc.</p>

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:	Desventajas:
<p>Costos reducidos.</p> <p>Requiere área pequeña.</p> <p>No precisa de agua.</p> <p>Los contenedores permiten un uso indefinido del servicio, con el cambio alternativo de los mismos.</p> <p>Construcción, mantenimiento con materiales y mano de obra locales.</p> <p>No existen olores si se usa correctamente.</p> <p>Puede ser integrada a una vivienda existente.</p> <p>No contamina el suelo ni las aguas subterráneas.</p> <p>Su implementación es adecuada en zonas inundables.</p> <p>Evita la contaminación del medio ambiente.</p> <p>Es recomendable cuando se tiene un nivel freático elevado.</p> <p>La microempresa de servicio de recojo de lodos fecales y orina provee de asistencia técnica e información sobre el uso y mantenimiento del los baños a los beneficiarios.</p>	<p>Requiere aceptación del usuario.</p> <p>Requiere capacitación familiar, antes durante posterior a la finalización de la implementación.</p> <p>Requiere el uso correcto del baño y disciplina de hábitos.</p> <p>Requiere del manipuleo, transporte y disposición final de las heces deshidratadas y orina por medio de una entidad responsable; micro empresa, EPSA local, asociación de usuarios, empresa de recojo de residuos sólidos, etc.</p> <p>Requiere manejo constante de material secante: aserrín, u otro.</p> <p>Requiere el manejo continuo de la orina, cada 4-5 días.</p> <p>La manipulación no protegida puede ser un riesgo sanitario.</p> <p>Mayor riesgo de presencia de moscas si no es bien mantenida.</p> <p>Se tienen costos por el servicio de recojo, adquisición de material secante, etc. que deben ser determinados en forma consensuada con los usuarios.</p> <p>Las familias lo consideran como una solución eventual, hasta contar con una infraestructura de alcantarillado sanitario.</p> <p>El material almacenado requiere, imprescindiblemente, de un tratamiento secundario para su uso en la agricultura, ver tecnología de tratamiento de lodos.</p>

Referencias:

Uno Winbland, Esrey,s,etal.Saneamiento Ecologico,Tr de la 1ra. Edición en ingles Ecological Sanitation,Adi, Estocolmo 1988.

GESEE (Global Ecovillage Educators for Sustainable Eart), *Tecnología Apropiaada*,2009

Zoomzap, *Manual del Sanitario Ecológico Seco*, 2000.

OMS, (Asesoría Ing. Daniel Burgos) *Manual de Construcción y Uso y Mantenimiento Sanitario Ecológico* 2002.

CDC, EMORI University, BM, Fundación Sumaj Huasi, *Laboratorio Parasitología IBBA, Bolivia, Análisis de Biosólidos en Baños Ecológicas*, 2007.

CDC, EMORY University, BM, Fundación Sumaj Huasi, *Informe para UNICEF Acerca de los Resultados Preliminares de la Evaluación de Proyectos de Baños Ecológicos, 2007.*

Elizabeth Tilley, Cristophluthi, Antoine Moprel, Chris Zurbrug y Roland Shertenleib, Eawag Sandec – *Sanitation Systems Compendium of Sanitation Systems and Technologies, 2005.*

Fundación AguaTuya, *Manual del Usuario, Manual de Construcción Baño Ecológico Seco, 2008.*

UNICEF, *Guía Perfiles Afinados de Proyectos de Agua y Saneamiento con tecnologías Apropriadas, 2010.*

Fábricas de inodoros

La Paz: Sumaj Huasi Telf. 2493947 cel. 72005025

Oruro: CERAPAZ Telf. 2895198 cel. 71232616

Cochabamba, fabrica Nacional Sanitarios GANDI, 4722801- 4284829

MOVACOM: Alto de La Paz

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS

Anexo. Foto 1



Foto 1.1. Inodoro de porcelana p/sentarse



Foto 1.2. Inodoro de fibra de vidrio



Foto 1.3. Baño e. Distrito 7 El Alto



Foto 1.4. Bidón de orina



Foto 1.5. Baño La Maica c. Cochabamba



Foto 1.6. Baño c/ducha, z. periurbana c. Cochabamba



Fig. 1. Recolección de heces parcialmente deshidratadas. Baño ecológico de contenedor móvil.

DESCRIPCIÓN

La recolección, transporte y disposición final de las heces fecales parcialmente deshidratadas, y la orina, procedentes del baño ecológico de contenedor móvil, es una medida complementaria a la gestión de esta tecnología y corresponde al cierre del ciclo ecológico. Todo el proceso se inicia a partir del inodoro ecológico, el llenado del contenedor móvil, la recolección y vaciado de las heces fecales, el transporte, el sistema de tratamiento adoptado, para su transformación en biosólidos, y su uso en la agricultura.

El material sólido recolectado, parcialmente deshidratado, requiere necesariamente de un tratamiento posterior para su uso como fertilizante o acondicionador de suelo. El manejo de las excretas puede ser realizado por una microempresa, EPSA local, agrupación de usuarios o el propio municipio, en condiciones de una gestión sostenible.

A nivel municipal, uno de los tratamientos más recomendables de lodos fecales es el compostaje y el almacenamiento de la orina. La infraestructura de una planta de compostaje debe contar con una superficie suficiente para los lechos de compostaje, su almacenamiento, la instalación de tanques de almacenamiento de orina, lechos de secado, ambientes para la administración, y servicios básicos. La entidad o empresa recolectora deberá contar además con un transporte adecuado para la recolección de los contenedores móviles y contar con unidades de reemplazo de estos recipientes. Por otra parte, el personal responsable del manipuleo, deberá ser capacitado sobre los riesgos que implican el manejo de las excretas y ser dotados de herramientas y equipamiento de protección adecuados.

CRITERIOS DE SELECCIÓN:

El manejo y disposición final de los productos resultantes de los baños ecológicos de contenedor móvil, es más adaptable a soluciones en conglomerados de viviendas, zonas periurbanas o zonas en expansión urbana, que cuentan con infraestructura

de vías accesibles para la circulación y transporte vehicular. Asimismo, requiere de la voluntad y capacitación de los usuarios a través de programas de educación, información y comunicación. Se debe contar además con mecanismos de control y monitoreo para lograr un aprovechamiento seguro de los productos, garantizando su manejo apropiado, minimizando los impactos al medio ambiente y preservando la salud pública,

La práctica de la gestión de lodos fecales en el país es aún experimental, estas se encuentran en las zonas periurbanas de las ciudades de El Alto (Distrito 7) y otra en la ciudad de Cochabamba (La Maica), todas ellas todavía en la etapa de estudios piloto.

Riesgos en la salud:

El manejo de las excretas conlleva precauciones que deben tomarse en cuenta, tanto para los beneficiarios como para los responsables del servicio de recolección del material de los contenedores. Desde una perspectiva de riesgo, la exposición al contacto con heces fecales se considera siempre peligrosa, debido a la probable presencia de altos niveles de patógenos como bacterias, virus, protozoos y helmintos, presentes en las heces fecales.

En nuestro país, la prevalencia de protozosis y helmintiasis varía de acuerdo a la zona geográfica como se observa en la tabla No 1, siendo mayor en la zona de los Llanos.

Tabla 1. Prevalencia de protozosis y helmintiasis en Bolivia

Zona geográfica	Prevalencia de Protozoos intestinales	Prevalencia de Helmintos intestinales
Altiplano	< a 20 %	< a 10 %
Valle	< a 30 %	< a 60 %
Llano	< a 40 %	< a 90 %

Fuente: El Enteroparasitismo en Bolivia Sergio Mollinedo / Cecilia Prieto año 2006

** El término "helminto" se utiliza en referencia a una variedad de gusanos que parasitan el intestino del ser humano. La infección por helmintos es el resultado de la presencia de larvas o huevos en el interior del cuerpo donde maduran, depositan sus huevos y obtienen sus nutrientes. La infección por helmintos puede ser provocada por nematodos intestinales presentes en el suelo, tales como, la lombriz intestinal (*Ascaris lumbricoides*), el gusano flageliforme (*Trichuris trichiura*), la tenia y especies que habitan en el agua como el *Schistosoma haematobium* y *S. mansoni*.*

Los materiales provenientes de contenedores móviles, requieren de un tratamiento posterior, tratamiento secundario, previamente a su uso en la agricultura o disposición final. De acuerdo a la experiencia que se viene desarrollando en Bolivia, se aplica el proceso de compostaje desde el nivel familiar como tratamiento primario (letrinas ecológicas de compostaje). El sistema emplea material secante orgánico: aserrín, trozos de arbustos, ramas, papel, etc., similar al compostaje de residuos sólidos aplicado en jardines. El proceso se fundamenta en las condiciones no saturadas de

las heces, que estimulan el desarrollo de las bacterias aerobias que degradan las heces fecales a través de procesos biológicos. En condiciones de buena operación y mantenimiento, un baño ecológico de compostaje, puede reducir el volumen original de las heces fecales a un 10-30%. El material resultante, deshidratado y degradado parcialmente, es removido y sometido a un tratamiento secundario para su aplicación en la agricultura.

CRITERIOS DE DISEÑO

Para el dimensionamiento y comprensión de los componentes del proceso, se presentan en la Tabla 2 las características físicas más importantes de las heces fecales.

Tabla No. 2 Características físicas de las heces fecales

Parámetros	Unidad	Cantidad
Peso de heces frescas producidas por persona	g/día	100 -200
pH	s/u*	5-6
Humedad inicial	%	65 - 75
Temperatura inicial	°C	35
Densidad de heces en estado fresco.	(kg/L)	700 – 1 040
Peso de heces frescas más material secante producido por persona, según experiencia en Bolivia.	g/día	170**
Humedad promedio a los 3 - 4 meses, en el contenedor móvil.	%	54
Humedad promedio a los 8 meses	%	35
pH de heces parcialmente deshidratadas, empleando material secante diverso, según diferentes zonas geográficas de Bolivia.	s/u*	8 – 9.3 ***
Disminución de volumen de heces deshidratadas en 3 meses	%	5
Tiempo de llenado en el contenedor móvil de 100 L, para una familia de 4 a 5 habitantes (llenado al 75%).	Aproximadamente de 2,5 a 3 meses, empleando aserrín como material secante.	
Peso de un contenedor de 100 L con heces parcialmente deshidratadas.	Kg	55 - 60

* Sin unidad.**Sumaj Huasi,***EMORY, baño ecológico de 2 cámaras, año 2 007
Se considera la densidad en 1,0 kg/ 1,0 L, para dimensionamiento

A objeto de minimizar los riesgos en la salud pública y viabilizar el uso de las heces fecales como fertilizante, se recomiendan las siguientes medidas (OPS/OMS, 2006):

- Las heces y lodos fecales deben ser tratados, antes de su uso como material fertilizante, con métodos de tratamiento validados de acuerdo a las condiciones locales.

- El equipamiento y transporte de material parcialmente tratado no debe ser empleado en el manejo de heces tratadas.
- El enterramiento de heces en el suelo deber ser realizado tomando precauciones sanitarias especiales, considerando que se trata de un material potencialmente infeccioso. Entre las medidas se incluyen la protección personal e higiene (incluyendo el lavado de manos).
- Las heces y lodos tratados deben ser abonados en el suelo lo más pronto posible y no ser expuestos en la superficie del suelo.
- Las heces y lodos fecales, insuficientemente tratados, no deben ser aplicados en el cultivo de vegetales, frutas o tubérculos que son consumidos crudos, exceptuando los árboles frutales.

La Tabla 3, presenta una guía para el tratamiento secundario a nivel municipal (que han sido objeto, previamente, de un tratamiento primario a nivel domiciliario).

Tabla 3. Tratamiento adicional de heces fecales a nivel municipal

Tratamiento	Criterios de diseño	Comentarios
Aumento del pH (alcalinidad)	pH > 9,0 durante periodos mayores a 9,0 meses.	Temperatura > 35° y contenido de humedad <25%. Un bajo pH y/o material húmedo prolonga el tiempo de eliminación de patógenos.
Compostaje	Temperatura >50° C por periodos mayores a siete días.	Requerimiento mínimo. Tiempos prolongados son necesarios si no se alcanza la temperatura necesaria.
Incineración	100% de incineración (<10% de contenido de carbón en las cenizas).	

Fuente: Fuente: OPS/OMS, 2006. Vol. IV. Excreta and Greywater use in Agriculture.

Producción de las heces parcialmente deshidratadas

El uso del baño ecológico de contenedor móvil (de 100 L de capacidad), genera en el lapso de 2,5 - 3 meses, 55 - 60 kg de material parcialmente deshidratado. El retiro y vaciado de los contenedores debe ser realizado por personal entrenado, con las seguridades sanitarias y equipamiento necesarios (guantes de goma, protector bucal, casco de protección, ropa adecuada, etc.), por ser aún un material potencialmente peligroso que contiene cantidades significativas de microorganismos patógenos.

Contenedor de recolección

Para el recojo de las heces parcialmente deshidratadas se utiliza contenedores de plástico de 100 L de capacidad o pueden emplearse turriles metálicos con dimensiones de 60 cm de diámetro por 46 cm de alto (la mitad de un turril metálico estándar de 200 L). En cada cámara del baño ecológico se tiene dos contenedores móviles, uno en uso, situado debajo del inodoro ecológico, y otro vacío para su

cambio o rotación cuando el contenedor en uso se llene. Una vez que se llena el contenedor este es transportado hasta la platea del medio de transporte (camión o camioneta). En casos extremos, la familia, previamente capacitada y dotada de equipamiento, puede ser la que realice el cambio de posición o rotación del contenedor lleno por el que está vacío. En cualquier caso, no es recomendable el manipuleo de los contenedores por parte de la familia, por los riesgos e incomodidad que esta tarea conlleva.

Compostaje

El compostaje como tratamiento secundario es recomendado principalmente para sistemas de tratamiento de heces y lodos fecales a gran escala. Este sistema no es fácil de operarlo, (ver la tecnología de tratamiento de lodos fecales) y requiere de condiciones controladas de operación. Es un proceso biológico en el cual las bacterias, gusanos y otros organismos descomponen la materia orgánica para producir humus. El humus que se produce es libre de patógenos y es un buen acondicionador de suelos.

Lombricultura

Otra técnica desarrollada para el tratamiento de lodos fecales es la lombricultura, similar al compostaje, con la excepción que se agregan lombrices al material sólido recolectado de los baños ecológicos. El objetivo de la lombricultura es acelerar el proceso del compostaje con la ayuda de lombrices y obtener un compost de mejor calidad. Al realizar la lombricultura intensiva se deben tomar en cuenta las siguientes condiciones ambientales:

- **Temperatura:** Las lombrices pueden sobrevivir en rangos de 0 - 42 °C, mejor entre 12° - 25 °C, en condiciones en que el consumo de nutrientes y la reproducción se dan en óptimas condiciones.
- **pH:** Las lombrices se desarrollan en un medio con un pH 4,5 - 11, ideal entre un pH 6,7 - 7,2 para su efectiva reproducción.
- **Luminosidad:** La lombriz se desarrolla en ambientes cerrados con cero o nula luminosidad.
- **Nutrientes:** Las heces parcialmente deshidratadas, son la materia prima de un lombricultivo, donde las lombrices consumen el material sólido en descomposición. Este material debe tener un tamaño de partículas de 1 - 5 mm para su asimilación por parte de las lombrices.
- **Humedad:** Las lombrices se desarrollan en un rango de humedad de 50-70 %.
- **Oxígeno:** La aireación es necesaria para mantener condiciones aerobias para el mejor rendimiento y la sobrevivencia de las lombrices.

Algunos factores externos alteran también la reproducción de las lombrices, vientos fuertes, lluvias directas, e invasión de plagas, por lo cual se recomienda que todo el proceso se lo haga en ambientes cerrados.

El humus logrado mediante la lombricultura se obtiene luego de un proceso de tratamiento de **4 a 5** meses. El humus, además de ser un excelente fertilizante, es un material que mejora las características físico – químicas del suelo. La lombriz más adaptable a diferentes condiciones ambientales es la Eisenia foteida, conocida como lombriz Californiana, que puede sobrevivir inclusive en zonas frías.

Manejo de la orina

La orina humana contiene la mayor parte de los nutrientes de la excreta humana, tiene nitrógeno en forma de urea, fósforo, potasio y otros nutrientes, en menor cantidad, como el magnesio y calcio, todos ellos de asimilación rápida por las plantas. La Tabla 4, muestra la producción de nutrientes per cápita correspondiente a las excretas, donde se observa que la orina es el mayor contribuyente de nitrógeno como de fósforo y potasio. Se puede emplear a nivel casero en el riego de jardines, invernaderos, etc. También se puede usar a nivel comunitario, a mayor escala, para su aplicación posterior en la agricultura. Para su empleo en el riego de cultivos, la orina requiere de un tiempo de almacenamiento mínimo de un mes, para zonas con temperaturas mayores a 20°C (zona de los Valles y Llanos), y mayor a tres meses en zonas con menores temperaturas. Este tiempo es necesario para lograr la disminución del pH inicial de 5,5 (ácido) a un valor superior a 9,0 (alcalino). A nivel casero, la orina puede aplicarse directamente previa dilución con agua, en una proporción de 1:2 – 1:5, a objeto de bajar el pH y no quemar las plantas. En caso de aplicarse a cielo abierto, infiltración en el suelo, no requiere ninguna dilución.

Tabla 4. Producción estimada de nutrientes percápita en excretas

Pais	Producción de nutrientes per cápita (kg/persona.año)			
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio
China	Total	4.0	0.6	1.8
	Orina	3.5	0.4	1.3
	Heces	0.5	0.2	0.5
Haiti	Total	2.1	0.3	1.2
	Orina	1.9	0.2	0.9
	Heces	0.3	0.1	0.3
India	Total	2.7	0.4	1.5
	Orina	2.3	0.3	1.1
	Heces	0.3	0.1	0.4
Sud Africa	Total	3.4	0.5	1.6
	Orina	3.0	0.3	1.2
	Heces	0.4	0.2	0.4
Uganda	Total	2.5	0.4	1.4
	Orina	2.2	0.3	1.0
	Heces	0.3	0.1	0.4

Fuente: OPS/OMS, 2006

En la Tabla 5 se muestra las características físicas más importantes de la orina

Tabla No. 5. Características físicas de la orina

Parámetros	Unidad	Cantidad
Orina generada por una persona, dependiendo del clima y consumo de líquidos	L	400 -500
pH, mas representativo	s/u*	5,5
Contenido de agua	%	96
Sólidos en solución	%	4
Urea	gr/L	20
Tiempo de llenado (100%) de bidón de 20 L, para una familia de 4 a 5 habitantes.	Aproximadamente de 4 a 7 días	

* Sin unidad

Recolección de la orina

Para la recolección de la orina se utilizan bidones de 20 L, generalmente de plástico, que pueden ser transportados por una persona. Este tipo de recipiente es barato, fácil de limpiar y reusable. Se aplica en zonas donde los puntos de generación y reuso están muy concentrados. Los bidones pueden ser empleados tanto en ambientes fríos, teniendo el cuidado de no llenarlos completamente, como en templados. Por su origen, la orina es generalmente estéril, por lo que su manipuleo no representa ningún riesgo, salvo en el caso de que se produzca una contaminación cruzada, con las heces fecales, en el punto de generación. El tiempo de llenado de un bidón de 20 L, tomando en cuenta una familia 5 personas, es de 4-7 días. Para la rotación o reemplazo correspondiente se tienen dos bidones o recipientes instalados en la misma cámara.

Almacenamiento descentralizado

Para el uso de la orina a mayor escala (por productores agrícolas), se necesita de un sistema descentralizado a nivel municipal, que recolecte la orina a nivel casero y tenga una capacidad de almacenamiento de mayor volumen. Para este fin, se debe prever el equipamiento necesario (movilidad, herramientas, etc.) y una infraestructura (terreno, instalaciones administrativas, área de circulación, etc.) que permita contar con una capacidad de gestión que incluya el tratamiento secundario de las heces fecales. El almacenamiento puede consistir en un tanque de plástico, fibra de vidrio u hormigón armado (no es recomendable un tanque metálico por el riesgo de corrosión). Los tanques deben estar sellados herméticamente para evitar fugas, infiltración y/o su evaporación y estar asentados en ambientes protegidos de las inclemencias del tiempo. Son provistos de una tapa de visita, con abertura suficiente para su limpieza y/o bombeo a un medio de transporte.

Aplicación directa de la orina

Para su empleo inmediato a nivel familiar, la orina se la puede diluir con agua para bajar el pH a un valor neutro (y prevenir que las plantas sean afectadas por el pH alto), la mezcla más usual está en proporción de 1:2 – 1:5. Las Tablas 6 y 7 muestran relaciones recomendables para la aplicación directa de la orina en varios tipos de cultivos.

Tabla 6. Aplicación de la orina para el cultivo de verduras

Tipo de cultivo	Verduras	Proporción de la mezcla orina: agua	
Hortalizas de hoja	Lechuga crespita	1	4
	Acelga	1	4
	Rábano	1	3
	Nabo	1	3

Tabla 7. Aplicación de la orina para el cultivo de árboles

Tipo de cultivo	Proporción de la mezcla orina: agua	Aplicación	Observación
Ciruelos, Jacarandas, duraznos etc.	1 : 3	c/mes durante 6 meses	Preparar una zanja de 10 cm alrededor del árbol, alejado del tronco, y verter la orina en la zanja y regar con abundante agua. Cubrir la zanja con paja y/o ramas secas para evitar la evaporación de la orina.
Cítricos, aguacates	1 : 3	c/mes durante 12 meses	
Arboles que no pierden sus hojas	1 : 3	c/mes durante 12 meses	
Pierden sus hojas en la estación seca	3 : 8	c/mes en 6 aplicaciones	

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Instalaciones

La infraestructura mínima para una planta de tratamiento secundario de heces/lodos fecales, requiere de suficiente área para la construcción de las celdas de compostaje, áreas o eras de secado, depósitos de productos terminados, tanques de almacenamiento de orina, área de administración, de circulación peatonal/vehicular, etc. Las instalaciones deberán contar con instalaciones de agua potable y tener acceso vehicular, preferiblemente ubicadas en zonas de poca densidad poblacional. La Fig. 2, muestra un esquema de disposición general.

Equipamiento

Como equipamiento mínimo de las instalaciones se requiere de tanques de almacenamiento de orina, movildades para el transporte, camión o camioneta acondicionada, contenedores de reemplazo (heces y/o orina), herramientas de trabajo, ropa de trabajo especial (guantes, botas de goma, protector bucal).

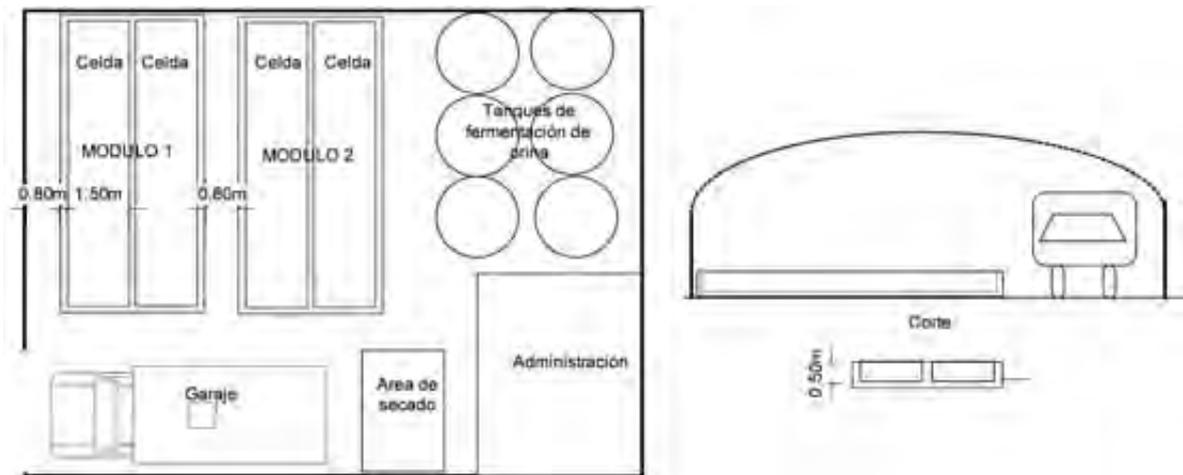


Fig. 2. Esquema de una planta de tratamiento de sólidos provenientes de baños ecológicos

Pre-dimensionamiento de las instalaciones de compostaje

El área de las instalaciones será determinada tomando en cuenta la producción de los lodos fecales producidos por los baños ecológicos, estimando un tiempo de llenado de las celdas de 4 meses y un periodo de reposo de otros 4 meses. En climas muy secos se pueden lograr contenidos de humedad menores al 20%, lo que facilita la reducción de patógenos. La desecación al sol o la exposición a temperaturas elevadas, mejora significativamente el proceso de tratamiento. Sin embargo, si el material es vuelto a humedecer o puesto en contacto con la humedad del suelo, puede contaminarse con Salmonella y E. coli.

El humus producido por el proceso de compostaje podrá cosecharse después de los 8 meses de tratamiento, dependiendo de las condiciones locales. Los componentes a ser calculados son los siguientes:

- Celdas o camas de lombricultura
- Tanque de almacenamiento de orina
- Zona de secado (se considera un 20 % del área total de la celda)
- Áreas de administración de 20 a 30 m²
- Volumen de esponjamiento 15 %
- Pasillos de circulación (80 a 100 % del área total de las celdas)

A objeto de minimizar la dispersión de los materiales secos en el entorno del área de la planta, por efecto del viento, es recomendable que se trabaje en instalaciones bajo cubierta, que asimismo evita la luminosidad (en el caso de aplicar la lombricultura) y/o tomar las precauciones necesarias.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las principales tareas de operación y mantenimiento de todo el sistema de gestión de los lodos provenientes de los baños ecológicos (a nivel familiar y/o municipal) se indican en la Tabla 8. Estas tareas deben ser ejecutadas por personal capacitado y que cuente con el equipamiento adecuado.

Tabla 8. Actividades Principales de Operación y Mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Recojo de contenedores móviles de heces fecales	Una vez que se tenga lleno un contenedor o parcialmente lleno el otro, la familia deberá esperar para el recojo de los mismos y acomodarse al cronograma previsto por parte de la entidad encargada del recojo.
Protección interna del contenedor de heces fecales	Forrar con papel la pared interior del contenedor móvil, mejor con bolsas vacías de cemento, u otra práctica que evite la adherencia de las heces frescas a la pared del contenedor.
Recolección y vaciado de bidones de orina.	Una vez llenos uno o los dos bidones, es preciso recolectar los mismos a través de la entidad de recojo. Es recomendable poseer más de 2 bidones. Es la actividad que requiere mayor atención.
Transporte de las heces fecales	Acomodarse a la frecuencia del servicio de recolección por parte de la entidad responsable de dicha tarea. En esta actividad se requiere un mínimo de 2 personas, para el traslado del contenedor móvil a la plataforma del medio de transporte. El vehículo deberá tener la seguridad necesaria para evitar el esparcido del material recolectado.
Llenado del material recolectado a las celdas de compostaje.	El vaciado se lo realiza a las celdas de compostaje para tener un tiempo de permanencia mayor o igual a los 4 meses, dependiendo de las condiciones locales.
Almacenamiento de la orina.	La orina recolectada es transportada y vaciada a un tanque de almacenamiento, permaneciendo en la misma por un tiempo de 1 – 3 meses, dependiendo de la temperatura media local.
Comercialización	Este proceso final corresponde a la venta de los productos terminados (sólido/líquido): humus y fertilizante.

Rendimientos de O&M de gestión de excretas en baños ecológicos de contenedor móvil

En la Tabla 9 se muestran algunos rendimientos referenciales logrados en el país para el recojo, transporte y disposición de heces fecales y orina que provienen de baños ecológicos de contenedor móvil. Cada planta de tratamiento de lodos fecales puede establecer sus propios rendimientos tomando en cuenta la cantidad de viviendas a ser atendidas.

Tabla 9. Rendimientos básicos para recojo, transporte y disposición

Actividad	Unidad	Cantidad
Recojo de contenedores móviles de 100 L en una hora (según distancia), empleando dos 2 personas más un chofer.	Pza.	4 - 6
Recolección de contenedores en un día (5 horas)	Pza.	20 - 30
Tiempo de un viaje de transporte de ida y vuelta	Hr.	Variable

Esparcido y disposición en las celdas	Hr.	1
Selección de desechos sólidos mayores	Hr.	Variable
Personal de recojo, carguío y esparcido en las celdas de compostaje.	Obrero	2
Personal de apoyo	Chofer	1
Otros para proceso	Obrero	Variable

Costos Referenciales por vivienda

La Tabla 10 muestra costos unitarios por vivienda, tomando en cuenta la experiencia piloto en la ciudad de El Alto.

Tabla 10. Costos referenciales por vivienda por uso y servicio del baño ecológico de contenedor móvil

Descripción item	Unidad	Cantidad	Precio unitario Bs	Precio total Bs.
Aserrín, incluye transporte (Bs 3,0).	Bolsa quintalera	1	7,0	7,0
Papel para forraje del contenedor móvil (bolsa de cemento).	Pza	1	0,3	0,3
Pago por servicio de recojo, microempresa	Bs/mes	1	Global	8,0 *
Costo total	Bs/mes	1	Global	15,3

* El costo es solo referencial, puede variar según la administración

La Tabla 11 presenta los costos directos de inversión estimados de una planta de tratamiento de heces fecales y orina, no incluye el costo del terreno.

Tabla 11. Costos directos referenciales de la infraestructura y equipamiento

Descripción	Infraestructura por m2 *	Equipamiento por vivienda **
Costo en bolivianos	670	850

*Incluye: Celdas, tinglado, pasillos de circulación de cemento, administración, área de secado, cerco perimetral, puerta.

** Incluye: Tanques, bidones, contenedores, herramientas y otros menores

Comercialización

La Tabla 12 muestra los precios de venta del humus y orina correspondientes al mercado de la ciudad de El Alto.

Tabla 12. Costos referenciales de venta de humus y orina tratada

Descripción	Humus por Kg*	Orina por L*
Costo en bolivianos	1	0,8

*Los costos están referidos en los puestos de comercializadores

RIESGOS ASOCIADOS

La Tabla 13, presenta un resumen de los riesgos asociados al manejo de las heces fecales y orina provenientes de baños ecológicos de contenedor móvil.

Tabla 13. Riesgos Asociados

Evento	Peligro asociado	Causa	Medidas preventivas
Olores en el manejo de los contenedores	Rechazo de la familia	Carencia de material secante, ventilación.	Información y educación a la familia
Manejo improvisado del contenedor	Contaminación en el medio ambiente, riesgo por contacto directo con las heces parcialmente deshidratadas.	Falta de capacitación de los usuarios	Programas de capacitación en el manejo e higiene, protección, lavado de manos.
Presencia de moscas	Contacto directo con la familia	Carencia de material secante y mal funcionamiento de la ventilación	Programas de capacitación a nivel familiar.
Incumplimiento de los cronogramas del servicio de recojo por parte de la entidad responsable.	Insatisfacción de la familia	Mala gestión del servicio, incumplimiento del contrato de servicios.	Monitoreo y control
Contacto humano con las heces parcialmente deshidratadas.	Inhalación de parásitos, contaminación directa por microorganismos patógenos, parásitos.	Mal manejo de las heces parcialmente deshidratadas.	Programas de capacitación, verificación de la seguridad del manejo, practica de higiene, lavado de manos
Existencia de parásitos en los productos	Asimilación del producto	Periodo corto de compostaje	Control de calidad, educación sanitaria.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas	Desventajas
<p>Permite la solución de disposición de excretas en zonas periurbanas y/o en expansión, que carecen de alcantarillado sanitario.</p> <p>La venta de los productos terminados puede solventar parte del servicio.</p> <p>Alta remoción de huevos de helmintos < 1 huevo viable/g.</p> <p>Impacto socio – económico positivo, creación de empleos.</p> <p>Se construye con materiales locales.</p> <p>Es aplicable en zonas o regiones de stress hídrico como una medida de adaptación al cambio climático.</p>	<p>La gestión requiere de una entidad responsable: mico -empresa, EPSA, asociación de usuarios, empresa municipal.</p> <p>Riesgo de contaminación por el manipuleo de los contenedores por parte de la familia, sino se cuenta con la debida capacitación y protección sanitaria.</p> <p>Costos iniciales elevados para la instalación de la infraestructura y equipamiento.</p> <p>Requiere un control y regulación por parte de una entidad local.</p> <p>La carencia de mercado para los productos, puede ser una amenaza para la sostenibilidad del sistema.</p> <p>Exige que los costos de venta de servicios y productos cubran los gastos de operación.</p> <p>Puede requerir grandes extensiones de terreno para la implementación de la infraestructura.</p> <p>Requiere de un experto para el diseño del sistema de tratamiento.</p>

EJEMPLO DE DISEÑO

Cálculo de una infraestructura básica para compostaje y almacenamiento de orina para una población de 500 habitantes (100 viviendas).

Datos:

N: Número de habitantes, 500

P: Producción de heces parcialmente deshidratadas por persona, 5,13 (kg/hab. mes)

O: Producción de orina por habitante/mes 33 (L/mes)

a : Ancho de la celdas, 1,5 m

b : Alto de la cama, c = 0,50 m

k : Número de celdas: 2

Ancho de pasillos, 0,8 m

Espesor de paredes en las celdas: 0,15 m

T: Volumen de los tanques de orina, adoptado, 8 m³

nm: Tiempo de llenado de heces parcialmente deshidratadas en una celda, 4 meses

Reposo del biosólido: 4 meses

nt : Meses de almacenamiento de la orina, 3 meses

e : Esponjamiento 15 %

V: Producción de heces parcialmente deshidratadas (m³)

D: Número de tanques

Producción heces parcialmente deshidratadas:

$$V = P \times N \times nm \times e = 5,13 \times 500 \times 4 \times 1,15/1000 = 11,8 \text{ m}^3$$

Longitud de la celda

$$L = V / (a \times b \times k) = 11,80 / (1,5 \times 0,5 \times 2) = 7,87 \text{ m}$$

$$\text{Total ancho neto de las celdas + paredes } S = 1,5 \times 2 + 6 \times 0,15 = 3,9 \text{ m}$$

Área de las celdas

Considerando 2 módulos

$$A = L \times S = 7,87 \times 3,90 \times 2 = 61,40 \text{ m}^2$$

Área de tanques de orina

Número de tanques de orina:

$$D = N \times O \times nt / (1000 \times T) = 500 \times 33 \times 3 / (1000 \times 8) = 6,19 \text{ se adopta 7 unidades}$$

$$\text{Diámetro del tanque plástico de } 8 \text{ m}^3 = 2,0 \text{ m}$$

$$\text{Área total de 7 unidades} = 7 \times 2 = 14 \text{ m}^2$$

Áreas de equipamiento

$$\text{Pasillos de circulación} = 100 \% \text{ de área de celdas} = 1 \times 61,4 = 61,40 \text{ m}^2$$

$$\text{Zona de secado} = 20 \% \text{ de área de celdas} = 0,2 \times 61,40 = 12,3 \text{ m}^2$$

Administración = adoptado 20 m²

Garaje = adoptado 18 m²

$$\text{Total área} = 61,40 + 14,0 + 61,40 + 12,3 + 20 + 18 = 187,1 \text{ m}^2, \text{ se adopta } 200 \text{ m}^2 \text{ (superficie mínima)}$$

Referencias:

SAFE USE OF WASTERWATER EXCRETA AND GREYWATER, *Worl Health Organization–FAO–UNEP 2006.*

Uno Winbland, Esrey,s,etal.*Sanemiento Ecologico,Tr de la 1ra. Edición en ingles Ecological Sanitation,Adi, Estocolmo 1988,*

Fundación Sumaj Huasi, *Laboratorio Parasitologia IBBA, Bolivia, Análisis de Heces parcialmente deshidratadas en Baños Ecológicas, 2007*

Fundación Agua Tuya, Manual del Usuario, *Manual de Construcción Baño Ecológico Seco, 2008.*

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS

Anexo 1.



Foto 1.1. Recolección en el baño
Distrito 7 de El Alto



Fig. 1.2 Colocación en el camión



Foto 1.3. Retiro de orina



Foto 1.4 Fermentación de orina



Foto 1.5. Lumbricultura
C. Cochabamba



Foto 1.6. Transporte de contenedores



Foto 1.7. Fertilizante



Foto 1.8. Uso del humus y fertilizante

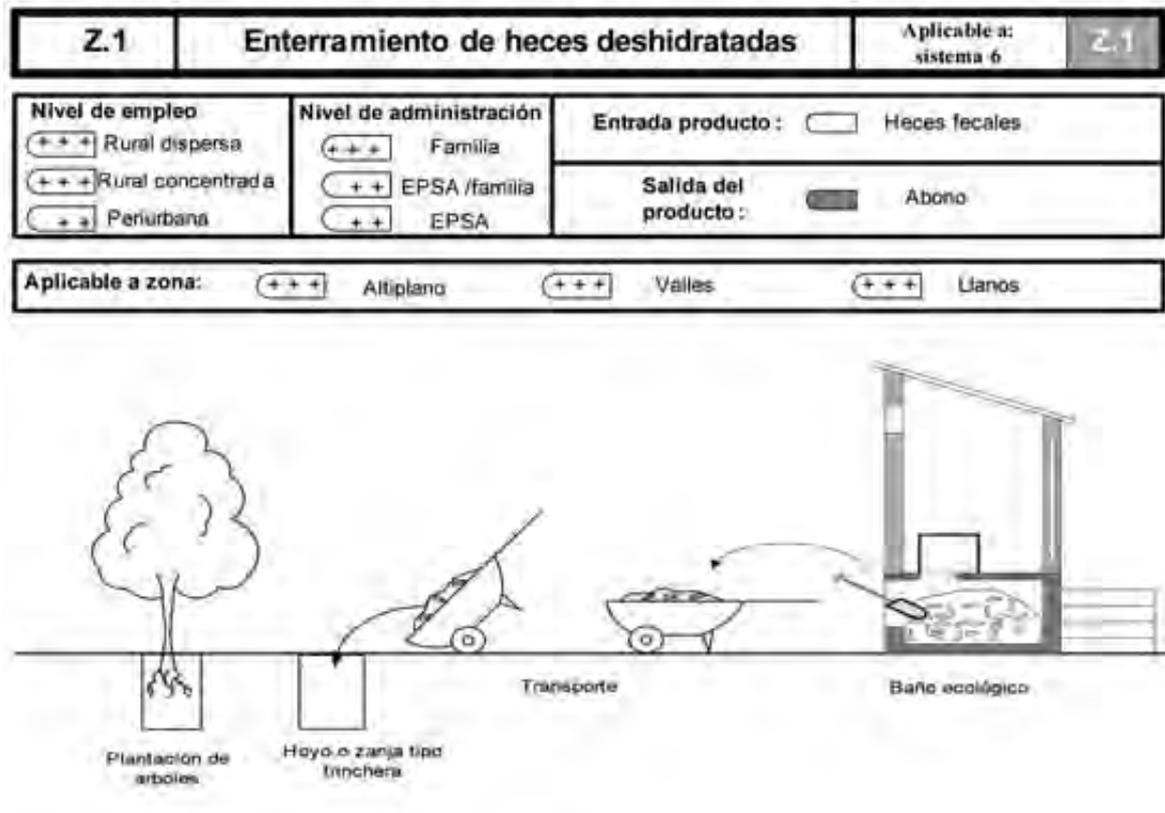


Fig. 1. Sistema de enterramiento de heces deshidratadas

DESCRIPCIÓN

El enterramiento corresponde al complemento del uso del baño ecológico de doble cámara, cumpliéndose de esta manera el ciclo ecológico. Esta labor generalmente es realizada a nivel familiar, o también puede ser operado por una microempresa, EPSA, agrupación de usuarios o empresa municipal, con condiciones de manejo sostenible y disponibilidad de relleno sanitario, ver Fig. 1.

Después del proceso de deshidratación de las heces fecales (1.5 – 2 años) que tiene lugar en las cámaras de almacenamiento, el volumen de sólidos se reduce a un 25 %; si la deshidratación es completa se obtendrá un producto desmenuzable, similar al polvo, rico en carbono y nutrientes, pero pueden contener aún agentes patógenos que pueden sobrevivir en extremas condiciones ambientales. El enterramiento es una medida de protección que minimiza los riesgos a la salud pública y al medio ambiente.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

El manejo y disposición final de los sólidos provenientes de los baños ecológicos de doble cámara u hoyo seco alternante, es una tarea que debe tomarse en cuenta desde el inicio del proyecto. En zonas urbanas – periurbanas la gestión puede realizarse a través de una entidad responsable de la recolección y/o disposición final, que puede ser la misma empresa de recolección de residuos sólidos municipales u otra destinada exclusivamente al enterramiento. En caso de que las familias sean las que operan el sistema de enterramiento, éstas deberán estar capacitadas y dispuestas para su aplicación.

El material extraído de las cámaras u hoyos secos deberá ser trasladado a un lugar elegido para el enterramiento (a nivel familiar y/o municipal). Previo al proceso se deberán mezclar los sólidos extraídos con tierra en una proporción 1: 1,5 – 1: 2,0, a objeto de bajar el pH a un valor neutro. Concluida la preparación de la mezcla ésta puede ser depositada en un hoyo excavado o en una zanja tipo trinchera, en los cuales pueden plantarse árboles o arbustos de tallo alto. El material preparado también puede servir en la reposición de los suelos pobres, mejorando la capacidad de retención de agua y/o el contenido de materia orgánica, para lo cual, se deberá contar con los cuidados sanitarios necesarios. El manipuleo de las heces deshidratadas puede no ser aceptado por algunos usuarios, para evitar este aspecto, deben estar completamente secas, quebradizas y sin olor; en estas condiciones es más aceptable su manejo que el estiércol o lodos fecales provenientes de cámaras sépticas. En caso de que exista una micro empresa de recojo de este material, transporte y enterramiento sin reuso, solo se requiere un manejo similar al de residuos sólidos y depositarlo en un relleno sanitario, con la ventaja de que no se producen lixiviados.

CRITERIOS DE DISEÑO

El hoyo, zanja o trinchera de enterramiento, puede ser a nivel familiar o comunitario, en este último caso se podrían habilitar áreas verdes o parques. En caso de emplearse hoyos éstos deberán tener una profundidad no mayor a un metro con una sección mínima de 0.90 x 0.90 m, donde se depositarán los sólidos recolectados mezclados con tierra. Para el diseño se podrán tomar en cuenta las características físicas que se indican en la Tabla 2 de la tecnología de Manejo de sólidos deshidratados y orina.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Por la simpleza en la construcción de un pozo y su relleno, se lo trabaja manualmente con las debidas precauciones a fin de evitar inhalar el polvo (empleando protector bucal, guantes, filtro de aire, etc.), debiendo rellenarse con una capa final de cubierta de tierra de al menos 20 cm (para evitar su libre exposición y acción del viento).

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las principales tareas de operación y mantenimiento se indican en la Tabla 1. Estas tareas pueden ser ejecutadas por la familia, debiendo contar con equipo (herramientas menores) y ropa de protección necesarios.

Tabla 1. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Control de llenado de la cámara de almacenamiento del baño ecológico de doble cámara u hoyo seco alternante.	Una vez que se observe el llenado de una, es momento de abrir la portezuela de acceso y retirar el material sólido para su traslado al sitio del enterramiento.
Manipuleo del material deshidratado.	La persona que realiza el retiro de los lodos fecales deshidratados, deberá tener como herramientas menores una pala, carretillas y como equipo de protección: barbijo, guantes y botas de goma, ropa de trabajo y casco.
Excavación para enterramiento a nivel familiar	El volumen retirado de heces tratadas es aproximadamente de 0,350 m ³ , que requiere un volumen de enterramiento aproximado de 0,8 m ³ , que incluye la tierra de mezcla en la proporción indicada anteriormente.
Plantado de árboles/arbustos	Concluido el enterramiento se podrá plantar un árbol o arbustos, y cubriendo el hoyo con 20 cm de tierra para su sellado.
Higiene	Concluida las tareas, el operador deberá proceder al lavado de manos e higiene personal.

RIESGOS ASOCIADOS

La Tabla 2, presenta un resumen de los riesgos asociados al enterramiento de heces deshidratadas provenientes de baños ecológicos de doble cámara.

Tabla 2. Riesgos Asociados

Evento	Peligro asociado	Causa	Medidas preventivas
Olores en el manejo de las heces deshidratadas	Rechazo de la familia	Infiltración de agua u orina en la cámara	Información y educación a la familia
Manejo improvisado de las cámaras	Contaminación ambiental	Falta de capacitación de los usuarios	Programas de capacitación en higiene especialmente lavado de manos
Presencia de moscas	Contacto con la familia	Carencia de material secante y mal funcionamiento de la ventilación	Programas de capacitación
Contacto humano con las heces fecales deshidratadas	Inhalación de parásitos, contaminación directa por potenciales agentes patógenos	Mal manejo de las heces fecales deshidratadas.	Programas de capacitación, verificación de la seguridad del manejo. Practica de higiene,
Posible existencia de parásitos en los biosólidos (áscaris)	Inhalación del producto, contaminación directa por potenciales agentes patógenos.	Humedad existente en la cámara, falta de ventilación.	Seguridad en el manipuleo, practicas de higiene, especialmente lavado de manos

Permanencia larga de los biosólidos en la cámara > 1,5 – 2,0 años	Rebalse de las cámaras, contaminación por contacto directo.	Omisión u olvido de las familias en el manejo de los biosólidos.	Programas de refuerzo en la capacitación
---	---	--	--

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

La Tabla 3, muestra un resumen de las ventajas y desventajas del enterramiento de heces fecales deshidratadas de baños ecológicos de doble cámara u hoyo seco alternante.

Tabla 3. Ventajas y desventajas

Ventajas:	Desventajas:
<p>Mejora la estructura, retención de agua y la capacidad de absorción del suelo.</p> <p>Técnica simple para los usuarios. Bajo costo y materiales accesibles.</p> <p>Bajo riesgo de transmisión de patógenos.</p> <p>Puede generar la mejora del medio ambiente con la plantación de árboles.</p> <p>Los huevos de helmintos son eliminados con el enterramiento.</p>	<p>Trabajo intenso para la excavación del hoyo.</p> <p>Peligro en el manipuleo de los sólidos, el operador deberá tener la debida capacitación y protección sanitaria.</p> <p>Exige un equipamiento mínimo para la operación.</p>

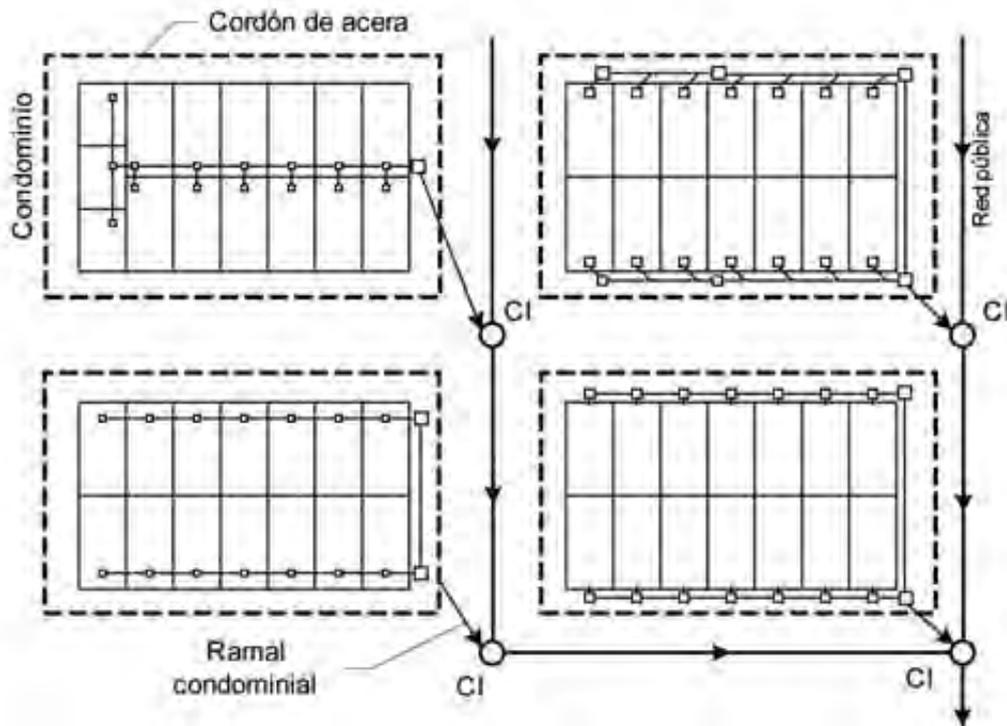
Referencias:

Elizabeth Tilley, Cristophluthi, Antoine Moprel, Chris Zurbrug y RolandShertenleib, Eawag Sandec – Sanitation Systems Compendium of Sanitation Systems and Technologies, 2005.

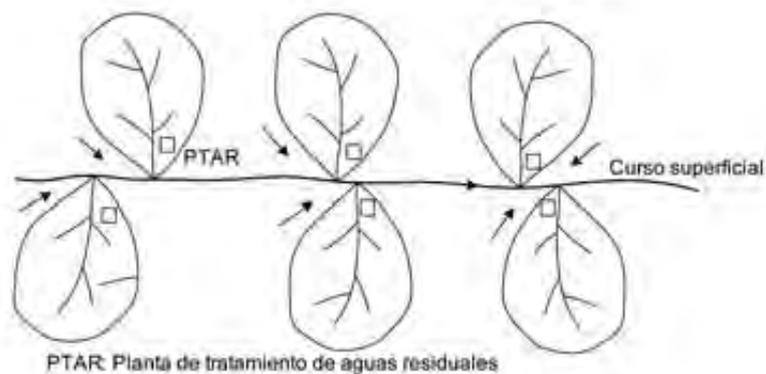
SAFE USE OF WASTERWATER EXCRETA AND GREYWATER, Worl Health Organization – FAO – UNEP – 2006.

Uno Winbland, Esrey,s,etal.*Saneamiento Ecologico,Tr de la 1ra. Edición en ingles Ecological Sanitation,Adi, Estocolmo 1988.*

C.1 Alcantarillado sanitario condominial		Aplicable a: sistema 8 - 9	C.1
Nivel de empleo () Rural disperso (++) Rural concentrado (+++) Peri-urbano	Nivel de administración (++) Familia (+++) CAPYS (+++) EPSA	Entrada producto: () Aguas negras / grises	
		Salida del producto: () Aguas negras / grises	
Aplicable a zona: (++) Altiplano (++) Valles (++) Llanos			



a) Ramal condominial y red pública



b) Microcuencas

Fig.1. Sistema de alcantarillado sanitario condominial

DESCRIPCIÓN

El sistema de alcantarillado sanitario condominial es una concepción de saneamiento que integra una tecnología alternativa con la participación de la comunidad,

produciendo soluciones que combinan economía y eficiencia en la búsqueda de la universalidad del acceso a servicios sostenibles de saneamiento.

Este modelo conceptual, desarrollado en Brasil por el Prof. Carlos de Mello, se basa en i) incorporación de la comunidad en las decisiones y acciones del proyecto; ii) adecuación a la realidad local a través del conocimiento de las peculiaridades y experiencias tecnológicas y de organización social, que permiten establecer los criterios y soluciones de acuerdo a las limitaciones y potencialidades reales de los recursos financieros, humanos y naturales disponibles a nivel local; iii) descentralización de las soluciones tecnológicas, en la toma de decisiones y en la gestión de los servicios; iv) integración de acciones, buscando economía en la aplicación de los recursos y eficiencia, coordinando la articulación entre la comunidad, el prestador del servicio y el gobierno municipal; v) concepción del saneamiento como un proceso gradual y permanente, que responde a la demanda de estos servicios de acuerdo a las capacidades económicas y condiciones socioculturales de los beneficiarios; vi) simplicidad de las soluciones técnicas de forma tal que respondan a diferentes niveles de servicio.

La implementación del modelo ofrece una solución integral que implica el desarrollo de un componente social clave para la sostenibilidad del sistema condominial. Este componente tiene por objetivo la incorporación de la comunidad en todo el proceso de ejecución, desde la decisión de llevarlo a cabo hasta la operación y mantenimiento del mismo. El objetivo de la participación de la comunidad es generar la apropiación del sistema condominial por parte de los beneficiarios y conduce a su involucramiento en la gestión misma del servicio. El desarrollo del componente social incluye programas de capacitación en el mantenimiento del sistema condominial, así como en educación sanitaria y ambiental.

Elementos del sistema

El sistema condominial, ver Fig. 1, lo integran los siguientes subsistemas i) Ramales Condominiales; ii) Red Pública y iii) Instalaciones Sanitarias Domiciliarias iv) Tratamiento de aguas residuales.

Ramal condominial

El ramal condominial recolecta los efluentes de aguas residuales de un conjunto habitacional, cuadra, manzano, unidad vecinal, denominado condominio. El condominio, que es delimitado por una cuadra o manzano, se constituye en la unidad básica de atención del sistema y no una vivienda individual o lote como ocurre en los sistemas convencionales. Esta unidad básica es definida por las condiciones de desarrollo urbano y es organizada por la comunidad. La recolección de los efluentes sanitarios de cada condominio se realiza a través del ramal condominial que descarga a un punto del colector público o red principal.

Red pública

La red pública está constituida por los colectores que reciben los efluentes de los ramales condominiales de la última cámara de inspección de cada conjunto habitacional.

El trazado de las redes se lo realizará teniendo en cuenta microcuencas existentes y/o los sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales. Este enfoque

permite reducir los costos de inversión y permite la implementación del sistema por etapas.

Instalaciones intradomiciliarias

El sistema condominial promueve la implementación de unidades sanitarias básicas en cada vivienda, promoviendo soluciones tecnológicas sencillas, en las cuales la previsión de un desgrasador domiciliario es una premisa básica.

Tratamiento de aguas residuales

El sistema condominial permite la conceptualización de un sistema de alcantarillado sanitario en pequeñas cuencas naturales de drenaje, descentralizando de este modo el tratamiento de las aguas residuales. Esta conceptualización permite la implementación de sistemas de tratamiento de menor escala y de menores costos de inversión (Lagunas de Estabilización, humedales, filtros anaerobios).

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Durante los años 1998-2000 se implementó en la ciudad de El Alto el Proyecto Piloto El Alto (PPEA) para la transferencia del sistema de alcantarillado condominial en Bolivia, desarrollando y validando metodologías y estrategias de intervención para el desarrollo de este sistema en zonas periurbanas. El PPEA ha demostrado que los costos de construcción del sistema de alcantarillado condominial son mucho menores que los correspondientes al sistema convencional de alcantarillado sanitario. La Tabla 1, muestra un cuadro comparativo de las diferentes opciones desarrolladas por el PPEA y sus costos, considerando el tipo de gestión con relación a la operación y mantenimiento de los ramales condominiales.

La selección del tipo de sistema de alcantarillado condominial a adoptarse, depende i) del tipo de ramal condominial que sea apropiado para la comunidad; y ii) de la modalidad de participación de la comunidad en el proyecto, con o sin gestión compartida con la EPSA.

Opciones del ramal condominial

Los ramales condominiales podrán tener la siguiente localización, ver Fig. 2; i) por el fondo de los lotes; ii) por el jardín o frente de los lotes; iii) por las aceras; iv) mixto. i) Cuando el ramal condominial pasa por el interior de las viviendas, por el fondo del lote, en las áreas libres disponibles, se tiene la opción de menor costo, puesto que de esta manera se pueden evacuar las aguas residuales de todo el condominio por un solo conducto.

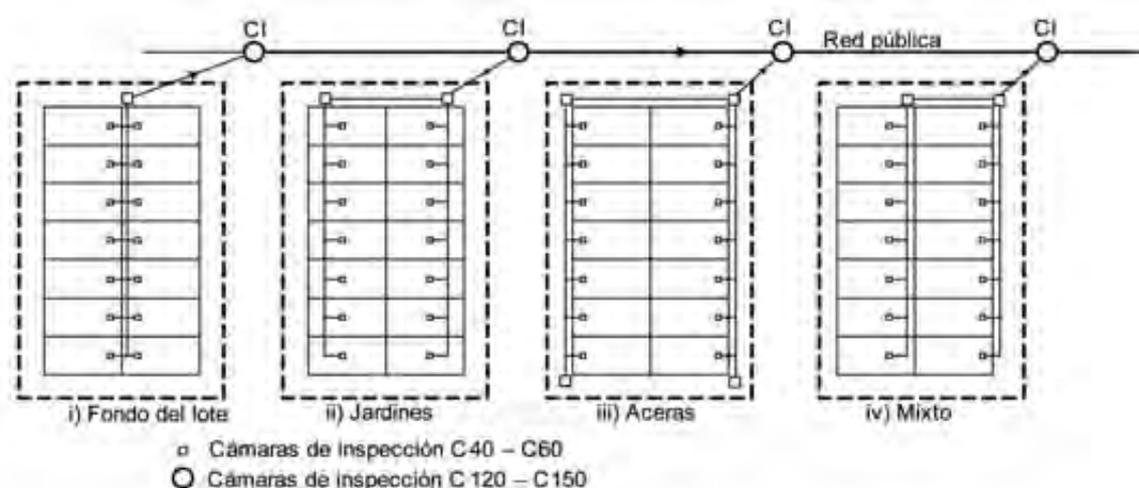


Fig. 2. Opciones de ramal condominial

ii) Si el ramal condominial se localiza en el interior de las viviendas, atravesando los jardines, generalmente ubicados al frente de los lotes, se tiene un sistema de dos conductos recolectando las aguas residuales de todo el condominio. Esta opción tiene mayor costo que la anterior, pero permite su ejecución en viviendas que cuentan con jardines o con retiros mínimos respecto a la vía pública.

iii) Si el ramal condominial pasa por el exterior de la vivienda, por las aceras, se tiene un sistema de dos colectores ubicados en la vía pública, que recolectan las aguas residuales del condominio. Es decir, el ramal condominial se encuentra en la parte externa de las viviendas, en las aceras. Esta es la opción más preferida por los usuarios y que ha sido validada en la ciudad de El Alto.

iv) En conjunto habitacionales irregulares, viviendas de ladera, servidumbres y similares, se pueden combinar las tres opciones de localización de los ramales condominiales.

Opciones de participación de la comunidad

La modalidad de participación de la comunidad en la gestión del sistema condominial puede ser i) de gestión compartida o; ii) sin gestión compartida con la EPSA.

i) En la modalidad de **gestión compartida**, la comunidad participa con su mano de obra en la ejecución de los ramales condominiales y es responsable de su mantenimiento. Por otra parte la EPSA se hace cargo de la provisión de materiales para la ejecución de los ramales condominiales y de la construcción y mantenimiento de la red pública. En esta opción, la intervención técnico-social demanda una mayor dedicación de tiempo y esfuerzo, considerando que la comunidad participa tanto en la construcción como en el mantenimiento de los ramales.

ii) En la modalidad de **gestión no compartida**, la EPSA es responsable tanto de la construcción de los ramales condominiales como de la red pública, así como, de la operación y mantenimiento de todo el sistema. En esta opción la intervención técnico-social se reduce en un 50% con relación a la modalidad con gestión compartida.

Tabla 1. Costos de implementación. Proyecto Piloto El Alto.

Alcantarillado sanitario condominial. Modelo de gestión	Zonas de implantación						Valor promedio
	Huayna Potosí	Villa Ingenio	S. Juan Río Seco	Oro Negro	Caja Ferroviaria	Germán Busch	
	Tipo de ramal condominial						
	Fondo del lote	Jardín del lote	Acera	Acera	Mixto	Acera	
Hab. / lote habitado	5,4	4,8	5,2	5,6	5,1	5,9	5
A) Gestión compartida							
USD Ramal / conexión	59,2	70,2	79,2	78,3	76,8	79,5	74
USD Interv.Social / conexión	26,8	37,8	23,8	25,7	17,2	20,5	25
USD (Ramal + Interv. Social)/ conexión	86	108	103	104	94	100	99
USD Red pública / conexión	38	53	61	35	51	32	45
USD (Red + Ramal) / conexión	124	161	164	139	145	132	144
B) Sin gestión compartida							
USD Ramal / conexión	106	119	146	144	134	129	130
USD (Red pública + Ramal)/ conexión	144	172	207	179	185	161	175
Sistema convencional							
USD/conexión	286	282	301	295	298	291	292

Fuente: PAS-Banco Mundial

Otras experiencias de implementación del sistema condominial en la ciudad de La Paz se han desarrollado en el barrio de Mallasilla y zona de Ovejuyo.

CRITERIOS DE DISEÑO

El diseño hidráulico es similar en la parte hidráulica al diseño de todo sistema de alcantarillado sanitario.

Caudales de diseño

El máximo caudal de diseño se calculará tanto para la etapa inicial como para el final del periodo de diseño considerando los caudales por aporte de aguas domésticas, infiltración, conexiones cruzadas y caudales por descargas concentradas. La Tabla 2 muestra un resumen de los principales parámetros a ser tomados en cuenta. La determinación del caudal de infiltración depende del nivel freático, tipo de suelo, pavimentación de las vías, etc. La CAESB, adopta un valor de 0,2 L/s.km para la red pública, considerando nulo el aporte para el ramal condominial. El porcentaje de conexiones cruzadas esta ligado al sistema de drenaje pluvial de la localidad, su valor se toma como un porcentaje del caudal máximo de aporte de aguas residuales domésticas. La evaluación del PPEA, Camacho & Loría, ha demostrado incrementos significativos de caudal durante la época de lluvias. Las descargas concentradas corresponden a las generadas por establecimientos públicos y/o privados como centros educativos, fábricas, centros de salud, edificios multifamiliares, centros comerciales, etc.

El caudal de diseño para la etapa inicial, en condiciones de flujo más desfavorables, sirve para determinar la pendiente mínima que permita garantizar las condiciones de autolimpieza y evitar la sedimentación de sólidos en los colectores. Esta condición se expresa a través de la relación de caudales (Q_p/Q_{LI}) en la situación al inicio del proyecto (caudal presente), que fluye en condiciones de sección parcialmente llena (Q_p), y la capacidad del colector a plena sección (NB 688). Para fines de dimensionamiento de los tramos iniciales, la norma brasilera recomienda que el caudal mínimo a ser considerado debe ser igual a 1,5 L/s, que corresponde a la descarga de un inodoro.

Para el cálculo del caudal de diseño, para la etapa inicial y final, se podrá emplear la siguiente expresión:

$$Q_d = K \cdot Q_{md} + Q_{inf} + Q_{cz} + \sum Q_{dc}$$

Donde:

Q_d : Caudal de diseño (L/s)

Q_{inf} : Caudal de infiltración (L/s)

Q_{cz} : Caudal por conexiones cruzadas (L/s)

Q_{dc} : Caudal por descargas concentradas (L/s)

$K = K_1 \cdot K_2$: Coeficientes punta, diario y horario. K varía entre 1,5 – 2,0

Tabla 2. Guías de diseño

Parámetro	Valor	Observación
Coef. de retorno (C)	0,60-0,80	Depende de las condiciones locales.
Consumo per cápita, D, (L/hab. día).	50-120	Ver Tabla 3 de dotaciones por región y tamaño de localidad.
Periodo de diseño (años)	10-20	Considerar etapas en el proyecto.
Población de diseño, P, (hab.)	De acuerdo a estudio de población.	Depende del grado de saturación urbano. Densidad poblacional (hab/lote).
Caudal medio diario doméstico (Qmd)	$Q_{md} = (C \cdot D \cdot P) / 86\ 400$	Ver Tabla 3 de dotaciones.
Coef. máximo diario (K1)	1,2 - 1,5	Valor recomendable 1,20
Coef. máximo horario (K2)	1,5 – 2,0	Valor recomendable 1,50
Caudal de infiltración, Qinf. (L/s.km).	0,05 - 1,0	Despreciable en tuberías de PVC. El valor asumido deberá ser justificado.
Caudal por conexiones cruzadas, Qcz, (L/s).	5% -10%	Como % del caudal máximo de aguas residuales domésticas.
Caudal de descarga concentrada, Qdc (L/s)	De acuerdo a estudio de establecimientos especiales	Considerar planos de ordenamiento urbano.

La Tabla 3, nos muestra valores referenciales de dotación per cápita (L/hab.día), para las diferentes regiones del país.

Tabla 3. Dotaciones per cápita referenciales (L/hab. día)

Región	Altitud Media	Precipitación Media Anual (mm)	Temp. Media (° C)	Dotaciones per cápita por tipo de ciudad L / hab. día			
				Menor	Intermedia	Mayor	Metropolitana
Altiplano	3 600 – 4 000	402	11	50 - 70	60 - 80	80 - 100	80 - 120
Valles	500 – 3 600	496	16	60 - 80	80-90	80 - 100	80 - 120
Llanos	100 - 500	1 167	27,5	70- 100	90 - 100	100-120	100 - 120

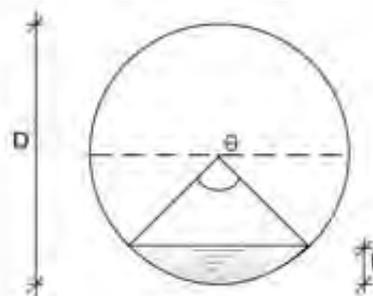
Ciudades: Menores: 2 000 – 10 000 hab., Intermedias: 10 000 – 100 000 hab., Mayores: 100 000 – 500 000 hab, Metropolitanas: > 500 000 hab

Diseño hidráulico

Para el diseño hidráulico de los colectores condominiales, ramales y red pública, se aplican las fórmulas de flujo uniforme - permanente y funcionamiento como conductos en condiciones de flujo libre. Se pueden aplicar las fórmulas de Manning o la de Colebrook – White.

Ecuaciones:

Manning: $V = \frac{1}{\eta} R^{2/3} S^{1/2} \text{ (m/s)}$



Continuidad: $Q = A.V$

Donde:

V = Velocidad del flujo (m/s)

η = Coef.de Manning (0.013 para todo material del conducto)

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente hidráulica, pérdida de carga hidráulica (m/m), igual a la Pdte. del conducto.

Q = Caudal de flujo (m3/s)

A = Área hidráulica (m2)

Relaciones hidráulicas

Las siguientes expresiones muestran las relaciones hidráulicas de una sección circular entre una sección parcialmente llena (subíndice p) y completamente llena (subíndice LI).

Relación de tirantes: $\frac{h}{D} = \frac{1}{2} \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right]$

Relación de radios hidráulicos: $\frac{R_p}{R_{LI}} = \left(1 - \frac{\text{Sen}\theta}{\theta} \right)$

Relación de velocidades: $\frac{V_p}{V_{LI}} = \left(1 - \frac{\text{Sen}\theta}{\theta} \right)^{2/3}$

Relación de caudales: $\frac{Q_p}{Q_{LI}} = \left(\frac{1}{2\pi} \right) (\theta - \text{Sen}\theta) \left(1 - \frac{\text{Sen}\theta}{\theta} \right)^{2/3}$

Donde:

θ = Ángulo central en radianes

h = Tirante de agua, Secc. parcialmente llena (m)

D = Diámetro del conducto (m).

Pendiente mínima admisible

La pendiente mínima (S_{min}) se determina con el criterio de la tensión tractiva mínima (τ_{min}) necesaria para garantizar las condiciones de autolimpieza en la etapa inicial del proyecto (1.0 Pa, NB 688). En cualquier caso debe adoptarse la pendiente natural del terreno siempre esta sea superior a la pendiente mínima admisible del conducto.

$$S_{min} = \frac{\tau_{min}}{\rho \cdot g \cdot R_p}$$

Donde:

ρ = Densidad del agua, 1 000 (kg/m³)

g = Constante gravitacional, 9,81 (m/s²)

R_p = Radio hidráulico de la sección parcialmente llena (m)

Relaciones de caudal presente/futuro

Las condiciones iniciales de diseño se determinan en función a los caudales al inicio y periodo final del proyecto. El tirante de agua, correspondiente al caudal máximo en la etapa final del periodo de diseño, no debe superar el 75% del diámetro del colector. Se recomienda adoptar valores $\left(\frac{Q_{pres}}{Q_{Ll}}\right)$ de 0,10 – 0,15 y que corresponde a relaciones de tirante y diámetro de la sección $\left(\frac{h}{D}\right)$ de 0.21 y 0.26 respectivamente. Otras relaciones pueden adoptarse mediante análisis real de caudales presentes y futuros.

$$\frac{Q_{pres}}{Q_{Ll}} = 0,10 - 0,15$$

Donde:

Q_{pres} = Caudal promedio en la etapa inicial del proyecto. Secc. parcialmente llena

Q_{Ll} = Caudal a sección llena

Las Tabla 4 y 5, muestran valores de la pendiente mínima determinados de acuerdo a los criterios anteriores. Los valores han sido calculados para relaciones de $\frac{Q_p}{Q_{Ll}}$ de 10% y 15%. Para estas relaciones se tienen las siguientes expresiones, ver Tablas del Anexo.

$$\frac{Q_{pres}}{Q_{Ll}} = 0,10; \implies \frac{h}{D} = 0,2136; \frac{R}{D} = 0,1278 \quad S_{min} = \left(\frac{1,0}{125,37 \times D}\right) \times 1\,000 \text{ (‰)}$$

$$\frac{Q_{pres}}{Q_{Ll}} = 0,15; \implies \frac{h}{D} = 0,2617; \frac{R}{D} = 0,1525 \quad S_{min} = \left(\frac{1,0}{1\,496,03 \times D}\right) \times 1\,000 \text{ (‰)}$$

Tabla 4. Pendiente mínima admisible para colectores de alcantarillado sanitario

$$\frac{Q_{PPEA}}{Q_{LI}} = 0,10$$

Diámetro		Pendiente teórica	Pendiente adoptada	Velocidad sección llena (m/s)	Caudal sección llena (L/s)
Pig.	DN (mm)	S o/oo	S o/oo	V LI	Q LI
2,0"	50	15,95	16,00	0,52	1,03
2,5"	60	13,29	13,30	0,54	1,53
3"	75	10,63	10,60	0,56	2,47
4"	100	7,98	8,00	0,59	4,62
6"	150	5,32	5,30	0,63	11,09
8"	200	3,99	4,00	0,66	20,74
10"	250	3,19	3,20	0,69	33,64
12"	300	2,66	2,70	0,71	50,25
14"	350	2,28	2,30	0,73	69,96
16"	400	1,99	2,00	0,74	93,14
18"	450	1,77	1,80	0,76	120,96
20"	500	1,60	1,60	0,77	151,04

La experiencia del PPEA, ha permitido establecer, por los bajos consumos de agua (60 – 70 L/hab. día), que es posible el empleo de menores diámetros en los ramales condominiales, por ejemplo DN 75. La NB 688 establece como diámetro mínimo DN 100.

Tabla 5. Pendiente mínima admisible para colectores de alcantarillado sanitario

$$\frac{Q_{grues}}{Q_{LI}} = 0,15$$

Diámetro		Pendiente teórica	Pendiente adoptada	Velocidad sección llena	Caudal sección llena
Plg	mm	S (‰)	S (‰)	V _{LI} (m/s)	Q _{LI} (L/s)
2"	50	13,37	13,40	0,48	0,94
2,5"	60	11,14	11,10	0,49	1,39
3"	75	8,91	8,90	0,51	2,26
4"	100	6,68	6,70	0,54	4,23
6"	150	4,46	4,50	0,58	10,22
8"	200	3,34	3,30	0,60	18,84
10"	250	2,67	2,70	0,63	30,90
12"	300	2,23	2,20	0,64	45,36
14"	350	1,91	1,90	0,66	63,58
16"	400	1,67	1,70	0,68	85,87
18"	450	1,49	1,50	0,69	110,42
20"	500	1,34	1,30	0,69	136,14

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Profundidad mínima

La profundidad de un colector debe permitir la recepción de las aguas residuales por gravedad y proteger el conducto contra impactos de cargas móviles, tráfico de vehículos, y otros. En el caso del Ramal Condominial, la profundidad mínima será aquella que garantice el escurrimiento de las aguas residuales domiciliarias por gravedad. La pendiente mínima recomendada del colector domiciliario, que se liga con el ramal condominial, varía entre el **1% al 2%** (experiencia PPEA). El modelo condominial permite obtener menores volúmenes de excavación por el hecho de que los ramales condominiales son localizados en áreas de nula circulación vehicular y destinadas a la circulación peatonal y/o jardines. La Tabla 6 muestra valores recomendados basados en la experiencia internacional y del PPEA.

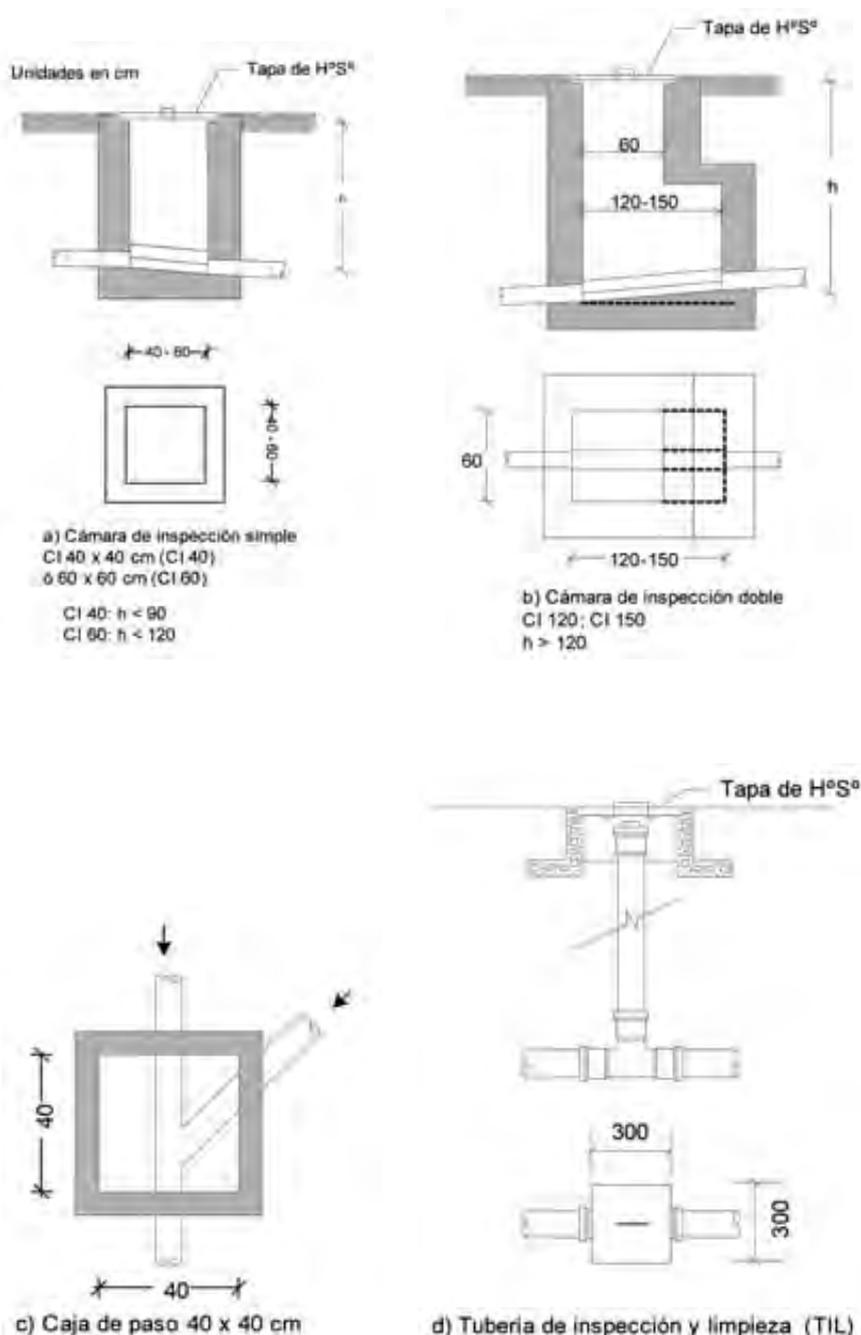
Tabla 6. Profundidades mínima recomendadas. Sistema Condominial

Tipo de red	Profundidad mínima (m)
Ramal condominial por las aceras	0,45-0,70
Ramal condominial al interior de los lotes	0,40-0,45
Red pública	0,95-1,10

En el caso de la red pública, la profundidad mínima está fijada por razones de protección contra el impacto debido a la circulación vehicular. Esta profundidad se establece considerando además la fijación de la rasante de la vía, que puede variar con el tiempo en zonas o barrios carentes de vías pavimentadas.

Elementos de inspección

Los elementos de inspección son estructuras que tienen por objetivo permitir las tareas de limpieza, desobstrucción de taponamientos, atascos, fugas, filtraciones, permitiendo el acceso de personal y equipos de limpieza. Se instalan en los cambios de dirección, pendiente, diámetro y material. Los elementos de inspección tipo se muestran en la Fig. 3. La Tabla 7 muestra las diferentes estructuras de inspección y sus dimensiones mínimas.



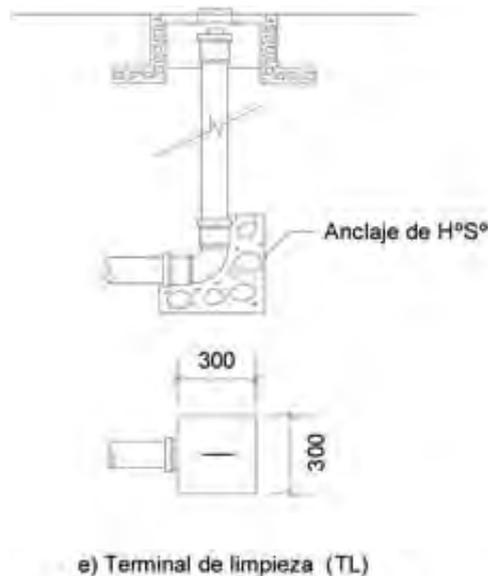


Fig. 3. Elementos de inspección. Alcantarillado sanitario condominial

i) Cámaras de inspección con diámetro de 0,40 m (CI 40), se emplean en los siguientes casos:

- a) Al interior de los lotes, en la conexión domiciliaria con el ramal condominial, cuando la profundidad del colector es menor o igual a 0,90 m.
- b) En el ramal condominial localizado en las aceras, cuando la profundidad del colector es menor a 0,90, con una separación máxima de 50 m.
- c) En los cambios de dirección, pendiente, material, del ramal condominial, cuando la profundidad del colector es menor de 0,90 m.
- d) En el arranque de un ramal condominial localizado en las aceras, cuando la profundidad del colector es menor a 0,90m.

ii) Cámaras de inspección con diámetro de 0,60 m (CI 60), se emplean en los siguientes casos:

- a) En los ramales condominiales instalados por las aceras, cuando la profundidad del colector es mayor a igual a 1,20 m. Las CI 60 se instalan con una separación máxima de 50 m
- b) En el punto final de evacuación del ramal condominial, antes de su conexión con la red pública, siempre que exista una intersección o encuentro de dos o más ramales.
- c) Al interior de los lotes, cuando la profundidad del colector es mayor a 0,90 m y menor a 1,20 m.
- d) En los cambios de dirección, pendiente, material, del ramal condominial, cuando la profundidad del colector es mayor a 0,90 m y menor a 1,20 m.
- e) En el arranque de un ramal condominial localizado en las aceras, cuando la profundidad del colector es mayor a 0,90 m y menor a 1,20 m.

iii) Cámaras de inspección o pozos de visita con diámetro de 1,20 m (CI 120) a 1,50 m (CI 150)

Estas cámaras se emplean en la red pública, cuando la profundidad es mayor a 1,20 m. Se emplean en los siguientes casos:

- a) En la reunión de dos o más tramos de colectores públicos.
- b) En los cambios de dirección y pendiente de los colectores públicos.
- c) A lo largo de la red pública, con una separación no mayor a los 80 m – 100 m, dependiendo del equipo de limpieza y desobstrucción con que se cuente.
- d) En el arranque de cada colector o inicio de la red pública.

iv) Tuberías de Inspección y Limpieza (TIL's), son dispositivos no visitables que permiten la inspección visual y la introducción de equipos de limpieza. Se emplean en sustitución de los pozos de visita.

v) Terminales de limpieza (TL), son dispositivos no visitables que se localizan en los arranques o cabecera de los colectores. Pueden ser empleados en sustitución de los pozos de visita o cajas de inspección.

vi) **Cajas de Paso** son dispositivos sin acceso que se emplea en sustitución de las cámaras de inspección o pozos de visita. Se localizan en los cambios de dirección, pendiente, diámetro y material. Se emplean cuando la pendiente de los colectores es superior al 7 ‰, en tuberías con DN 150, y de 5 ‰ en tuberías con DN 200, ver Fig. 3 c).

Tabla 7. Dimensiones mínimas de cámaras de inspección

Descripción	Dimensiones mínimas (m)	Profundidad máxima del colector (h) (m)	Observación
Cámara de inspección CI 40	0,40 x 0,40	$h \leq 0,90$	Pueden ser de Secc. circular DN 400
Cámara de inspección CI 60	0,60 x 0,60	$0,90 < h \leq 1,20$	Pueden ser de Secc. circular DN 600
Cámara de inspección CI 120, para tuberías hasta DN 800, diámetro :	1,20	$1,20 < h$	Con boca de acceso de 0,60 m
Cámara de inspección Secc. circular CI 150, para tuberías hasta DN 1200, diámetro:	1,50	$1,20 < h$	Con boca de acceso de 0,60 m

Materiales empleados

En los ramales condominiales, por la facilidad de montaje, se recomienda el empleo de tuberías de PVC. En la red pública se podrán emplear tuberías de PVC, tuberías de hormigón y/o cerámica. Debido a su mayor durabilidad y estanqueidad, el

empleo de tuberías de PVC en los ramales condominiales como en la red pública reduce los costos de instalación así como los de operación y mantenimiento (menor infiltración). Los elementos de inspección podrán ser de mampostería de ladrillo, piedra o estructuras prefabricadas de hormigón.

Conexión al ramal condominial

Las conexiones domiciliarias al ramal condominial se realizan a través de dos maneras, ver Fig. 4; i) al ramal interior, por el fondo o jardín de los lotes y; ii) al ramal exterior, por las aceras.

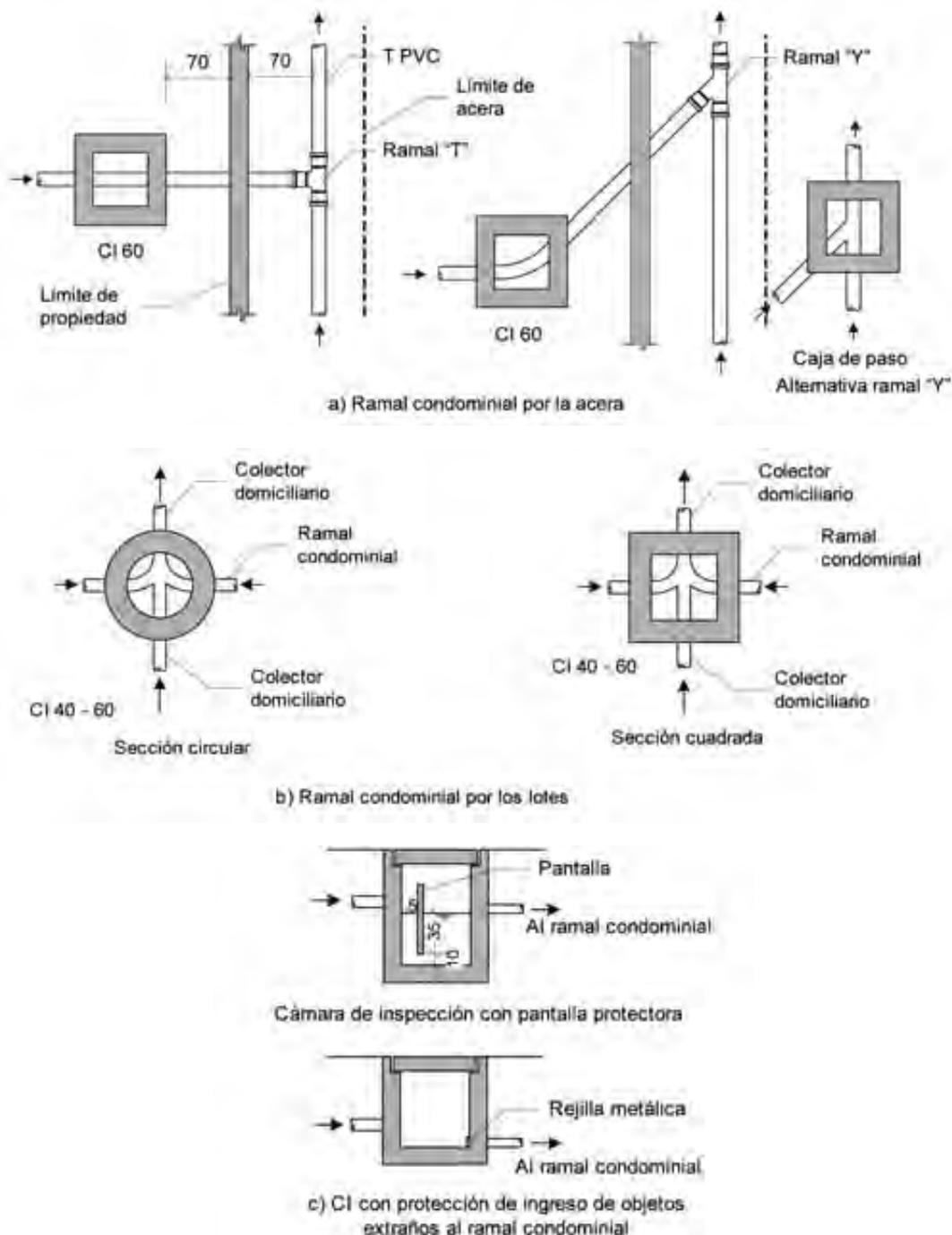


Fig. 4. Conexiones domiciliarias al ramal condominial

i) Conexión al ramal interior dentro del lote

En este caso la conexión se realiza a través de una caja de inspección, CI 40 o CI 60. El colector domiciliario se conecta directamente a la caja de inspección del ramal condominial. Cada vivienda deberá contar al menos con una caja de inspección.

ii) Conexión al ramal exterior por las aceras

Cuando el ramal condominial se encuentra fuera del lote, en las aceras, la conexión domiciliar se realizara a partir de una caja o cámara de inspección, CI40 – CI 60, la cuál se conecta con el ramal condominial a través de un tramo de tubería provista de un accesorio no visible “T”, ‘Y’ o una caja de paso, ver Fig. 4 b. Es preferible la conexión en “Y”, del colector domiciliario con el ramal condominial, por el mejor comportamiento hidráulico de la conexión.

Instalaciones sanitarias domiciliarias

Las instalaciones sanitarias domiciliarias se deberán realizar de acuerdo al Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias. Un aspecto que se debe destacar y que es importante para el funcionamiento de todo colector sanitario es la exigencia de instalación de un desgrasador en toda unidad sanitaria correspondientes a una cocina, ver Fig. 5. El objeto de la instalación de este artefacto es evitar la obstrucción de los colectores por el pasaje de grasas y aceites a los mismos. El volumen del desgrasador se calcula por la fórmula siguiente:

$$V_{Des} = 20 + N \times 2$$

Donde:

$$V_{Des} = \text{Volumen del desgrasador en litros (L)}$$

N = Número de personas servidas por las cocinas que contribuyen a un desgrasador.

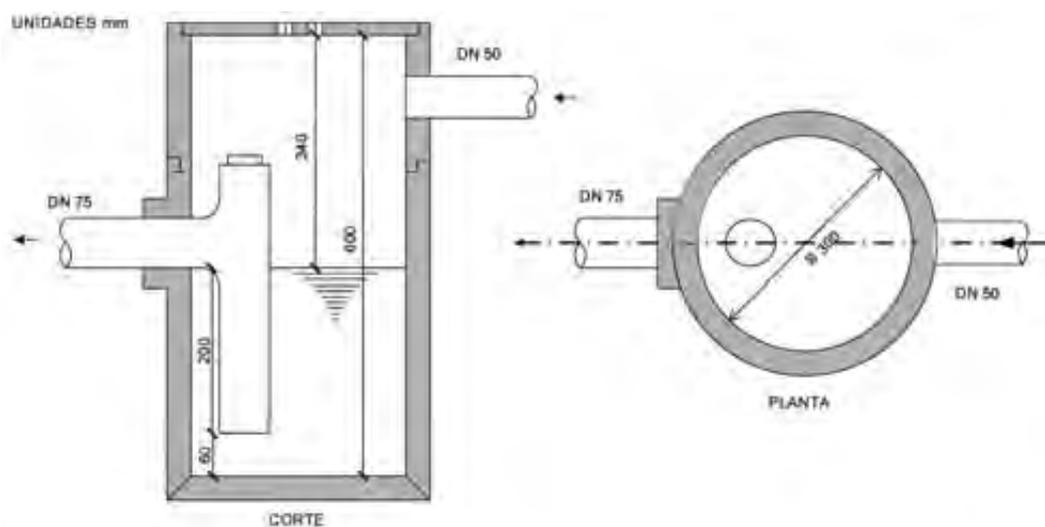


Fig. 5. Desgrasador tipo. Sección circular

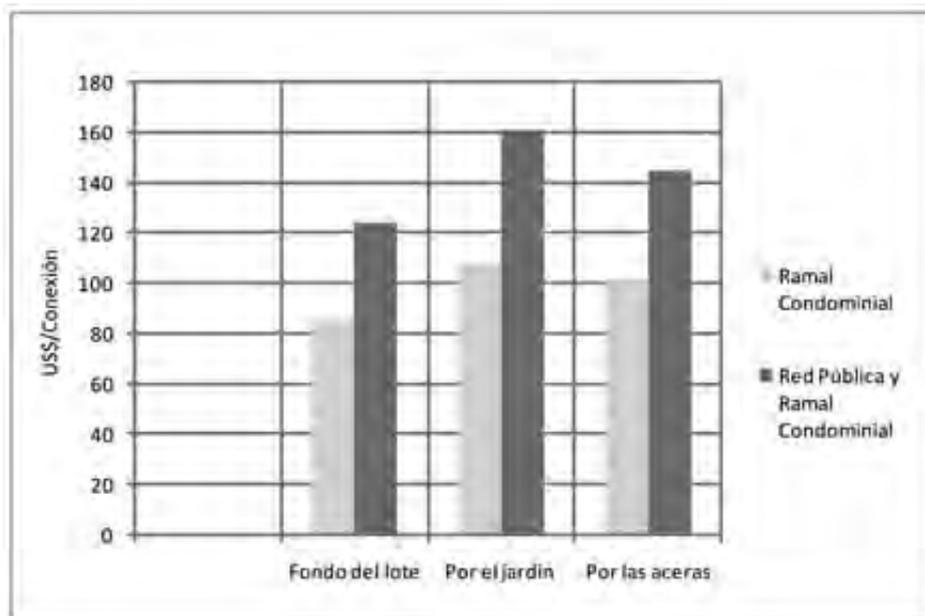
En viviendas sociales se debe considerar la instalación de una unidad sanitaria básica, que cuente al menos de un inodoro, lavamanos, cocina, ducha, y lavandería.

Costos

Los costos del sistema de alcantarillado sanitario condominial implementado en el PPEA se muestran en la Tabla 1 para las diferentes modalidades de participación de la comunidad, con o sin gestión compartida.

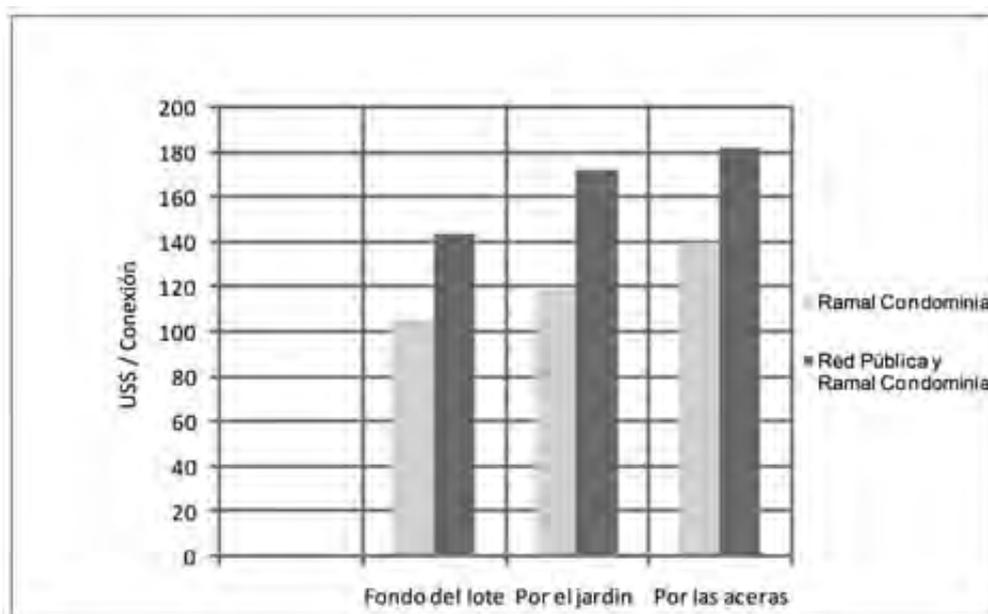
De acuerdo al Gráfico 1, en el caso del modelo de implementación del sistema de alcantarillado sanitario con gestión compartida, se observa que los costos del ramal condominial por el fondo de los lotes son mucho menores (US\$ 86/conex.) que los correspondientes a las otras opciones del ramal instalado por los jardines o por las aceras, US\$ 108 – 102 / conex., ver Fig. 2; 3; y 4. Los costos del conjunto ramal condominial - red pública fluctúan entre US\$ 124 – 161 por conexión, correspondiendo el menor costo a la opción de instalación de los ramales condominiales por el fondo de los lotes. Los costos per cápita promedio, para el conjunto ramal condominial – red pública, alcanzan a US\$ 27 / hab.

Gráfico 1. Costos de alcantarillado sanitario condominial con gestión compartida



El Gráfico 2 muestra los costos de implementación del sistema de alcantarillado sanitario condominial sin gestión compartida. Esta opción ha sido la más preferida por beneficiarios del PPEA. Los costos son más elevados en la opción del ramal condominial por las aceras, US\$ 182 / conex., mientras que la opción del ramal condominial por el fondo del lote tiene un costo de US\$ 144 / conex., 20% menos.

Gráfico 2. Costos alcantarillado sanitario condominial sin gestión compartida



OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las tareas de mantenimiento del sistema de alcantarillado condominial deben realizarse de manera integral entre la EPSA y la población beneficiaria. La responsabilidad de la operación y mantenimiento de la red pública es de la EPSA mientras que el mantenimiento de los ramales depende del tipo de gestión acordado con la comunidad. En el caso de tener una gestión compartida del sistema, el mantenimiento de los ramales condominiales corresponde a los vecinos beneficiados. Si la implementación del proyecto es un modelo sin gestión compartida, las tareas de mantenimiento, tanto de los ramales condominiales como de la red pública, es de responsabilidad de la EPSA.

La Tabla 8, nos muestra un resumen de las principales actividades de operación y mantenimiento de los sistemas de alcantarillado sanitario condominiales.

Tabla 8. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Elaboración y difusión de manuales de O&M preventivo y correctivo. Difusión instrumentos normativos.	Talleres de capacitación y difusión de los manuales de O&M, periodicidad del mantenimiento preventivo. Evaluación de resultados.
Inspección periódica tanto en los ramales como en red pública del sistema.	Controlar la obstrucción de tuberías, pruebas de escurrimiento, prueba de espejos. Limpieza y desobstrucción de tuberías.

Control de conexiones erradas en ramales y red pública.	Revisión e inspección visual de conexiones pluviales a los ramales condominiales y red pública. Control de niveles de agua en CI, durante época seca y lluviosa. Monitoreo de caudales en el afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.
Inspección periódica de cámaras de inspección en ramales condominiales y red pública.	Revisión de descargas de residuos sólidos, estado físico de tapas, accesos, control de niveles, hermeticidad de las cámaras, etc.
Inspección de desgrasadores en cocinas.	Limpieza periódica y retiro de grasas y aceites, disposición sanitaria de residuos sólidos.
Registro de obstrucciones en ramales y red pública.	Levantamiento de información a cargo de la EPSA y los usuarios, mantenimiento de un registro de O&M.

La EPSA, como responsable del sistema, deberá contar con los equipos necesarios, para las tareas de mantenimiento de las redes y los ramales condominiales, como ser equipos de bombeo, hidrochorros (especial para desobstrucciones), politubo, etc. En el caso de una gestión compartida del sistema, el comité o asociación de usuarios deberá contar con las herramientas apropiadas.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas	Desventajas
<p>Es la solución de menor costo de inversión en comparación del alcantarillado convencional (25% - 30%).</p> <p>Involucra a la comunidad en la gestión del servicio.</p> <p>Mejor funcionamiento de la red pública, concentración de caudales y menor número de conexiones a la red.</p> <p>Facilita la implementación del alcantarillado sanitario por etapas (red pública, ramales condominiales).</p> <p>Permite la descentralización de los servicios a nivel de microcuencas.</p>	<p>Exige un alto grado de intervención social, dependiendo del modelo a implementarse, incrementando los costos de los estudios de preinversión.</p> <p>Vulnerable en zonas donde no se cuenta con un sistema de drenaje pluvial.</p> <p>Exige tareas regulares de mantenimiento preventivo.</p> <p>Según el modelo a emplearse, exige un estudio más detallado de ingeniería a nivel de manzanos o conjuntos habitacionales (condominios).</p>

Referencias

PAS – Viceministerio de Servicios Básicos, Sistemas Condominiales de alcantarillado sanitario. Manual de Diseño y Construcción, Proyecto Piloto El Alto, Diciembre 2001.

PAS – Viceministerio de Servicios Básicos, Sistemas Condominiales de alcantarillado sanitario. Guía de Procedimiento, Proyecto Piloto El Alto, Diciembre 2001.

PROAGUA – gtz, Guía de Implantación de la Tecnología Condominial por una empresa de saneamiento, Sistema Alternativo de Bajo Costo de Alcantarillado Sanitario, Mayo 2003.

Ministerio del Agua – Viceministerio de Servicios Básicos, Guía Técnica y Social y el Software SICONAL 1.0 para la implementación de Sistemas de Alcantarillado Sanitario Condominial, Mayo 2006.

Alvaro Camacho G, Evaluación del sistema condominial de saneamiento en Bolivia, Cali, Colombia, 2007, alcamachog@hotmail.com

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS

Tabla 10. Relaciones hidráulicas, Sección parcialmente llena y sección llena

Relación h/D	A/Ao	Rp/D	Vp/VLI	Qp/Q LI
0,01	0,0017	0,0066	0,0890	0,0002
0,02	0,0048	0,0132	0,1408	0,0007
0,03	0,0087	0,0197	0,1839	0,0016
0,04	0,0134	0,0262	0,2221	0,0030
0,05	0,0187	0,0326	0,2569	0,0048
0,06	0,0245	0,0389	0,2892	0,0071
0,07	0,0308	0,0451	0,3194	0,0098
0,08	0,0375	0,0513	0,3480	0,0130
0,09	0,0446	0,0575	0,3752	0,0167
0,10	0,0520	0,0635	0,4012	0,0209
0,11	0,0598	0,0695	0,4260	0,0255
0,12	0,0680	0,0755	0,4500	0,0306
0,13	0,0764	0,0813	0,4730	0,0361
0,14	0,0851	0,0871	0,4953	0,0421
0,15	0,0941	0,0929	0,5168	0,0486
0,16	0,1033	0,0986	0,5376	0,0555
0,17	0,1127	0,1042	0,5578	0,0629
0,18	0,1224	0,1097	0,5775	0,0707
0,19	0,1323	0,1152	0,5965	0,0789
0,20	0,1424	0,1206	0,6151	0,0876
0,21	0,1527	0,1259	0,6331	0,0966
0,22	0,1631	0,1312	0,6507	0,1061
0,23	0,1738	0,1364	0,6678	0,1160
0,24	0,1845	0,1416	0,6844	0,1263
0,25	0,1955	0,1466	0,7007	0,1370
0,26	0,2066	0,1516	0,7165	0,1480
0,27	0,2178	0,1566	0,7320	0,1595
0,28	0,2292	0,1614	0,7471	0,1712
0,29	0,2407	0,1662	0,7618	0,1834
0,30	0,2523	0,1709	0,7761	0,1958
0,31	0,2640	0,1756	0,7902	0,2086
0,32	0,2759	0,1802	0,8038	0,2218
0,33	0,2878	0,1847	0,8172	0,2352
0,34	0,2998	0,1891	0,8302	0,2489
0,35	0,3119	0,1935	0,8430	0,2629
0,36	0,3241	0,1978	0,8554	0,2772
0,37	0,3364	0,2020	0,8675	0,2918
0,38	0,3487	0,2062	0,8794	0,3066
0,39	0,3611	0,2102	0,8909	0,3217

Tabla 10. (Cont.) Relaciones hidráulicas, Sección parcialmente llena y sección llena

Relación h/D	A/Ao	Rp/D	Vp/VLI	Qp/Q LI
0,40	0,3735	0,2142	0,9022	0,3370
0,41	0,3860	0,2182	0,9132	0,3525
0,42	0,3986	0,2220	0,9239	0,3682
0,43	0,4112	0,2258	0,9343	0,3842
0,44	0,4238	0,2295	0,9445	0,4003
0,45	0,4364	0,2331	0,9544	0,4165
0,46	0,4491	0,2366	0,9640	0,4330
0,47	0,4618	0,2401	0,9734	0,4495
0,48	0,4745	0,2435	0,9825	0,4662
0,49	0,4873	0,2468	0,9914	0,4831
0,50	0,5000	0,2500	1,0000	0,5000
0,51	0,5127	0,2531	1,0084	0,5170
0,52	0,5255	0,2562	1,0165	0,5341
0,53	0,5382	0,2592	1,0243	0,5513
0,54	0,5509	0,2621	1,0319	0,5685
0,55	0,5636	0,2649	1,0393	0,5857
0,56	0,5762	0,2676	1,0464	0,6030
0,57	0,5888	0,2703	1,0533	0,6202
0,58	0,6014	0,2728	1,0599	0,6375
0,59	0,6140	0,2753	1,0663	0,6547
0,60	0,6265	0,2776	1,0724	0,6718
0,61	0,6389	0,2799	1,0783	0,6889
0,62	0,6513	0,2821	1,0839	0,7060
0,63	0,6636	0,2842	1,0893	0,7229
0,64	0,6759	0,2862	1,0944	0,7397
0,65	0,6881	0,2881	1,0993	0,7564
0,66	0,7002	0,2900	1,1039	0,7729
0,67	0,7122	0,2917	1,1083	0,7893
0,68	0,7241	0,2933	1,1124	0,8055
0,69	0,7360	0,2948	1,1162	0,8215
0,70	0,7477	0,2962	1,1198	0,8372
0,71	0,7593	0,2975	1,1231	0,8527
0,72	0,7708	0,2987	1,1261	0,8680
0,73	0,7822	0,2998	1,1288	0,8829
0,74	0,7934	0,3008	1,1313	0,8976
0,75	0,8045	0,3017	1,1335	0,9119
0,76	0,8154	0,3024	1,1353	0,9258
0,77	0,8262	0,3031	1,1369	0,9394
0,78	0,8369	0,3036	1,1382	0,9525
0,79	0,8473	0,3039	1,1391	0,9652

Tabla 10. (Cont.) Relaciones hidráulicas, Sección parcialmente llena y sección llena

Relación h/D	A/Ao	Rp/D	Vp/VLI	Qp/Q LI
0,80	0,8576	0,3042	1,1397	0,9775
0,81	0,8677	0,3043	1,1400	0,9892
0,82	0,8776	0,3043	1,1399	1,0004
0,83	0,8873	0,3041	1,1395	1,0110
0,84	0,8967	0,3038	1,1387	1,0211
0,85	0,9059	0,3033	1,1374	1,0304
0,86	0,9149	0,3026	1,1358	1,0391
0,87	0,9236	0,3018	1,1337	1,0471
0,88	0,9320	0,3007	1,1311	1,0542
0,89	0,9401	0,2995	1,1280	1,0605
0,90	0,9480	0,2980	1,1243	1,0658
0,91	0,9554	0,2963	1,1200	1,0701
0,92	0,9625	0,2944	1,1151	1,0733
0,93	0,9692	0,2921	1,1093	1,0752
0,94	0,9755	0,2895	1,1027	1,0757
0,95	0,9813	0,2865	1,0950	1,0745
0,96	0,9866	0,2829	1,0859	1,0714
0,97	0,9913	0,2787	1,0751	1,0657
0,98	0,9952	0,2735	1,0618	1,0567
0,99	0,9983	0,2666	1,0437	1,0420
1,00	1,0000	0,2500	1,0000	1,0000

Tabla 11. Caudales a plena sección, Fórmula de Manning (n=0,013)

Pendiente S (‰)	Diámetro nominal DN (mm)									
	50	60	75	100	150	200	250	300	350	400
	(2")	(2,5")	(3")	(4")	(6")	(8")	(10")	(12")	(14")	(16")
1,0	0,26	0,42	0,76	1,63	4,82	10,37	18,81	30,58	46,13	65,86
1,1	0,27	0,44	0,80	1,71	5,05	10,88	19,72	32,07	48,38	69,07
1,2	0,28	0,46	0,83	1,79	5,28	11,36	20,60	33,50	50,53	72,14
1,3	0,29	0,48	0,86	1,86	5,49	11,83	21,44	34,87	52,59	75,09
1,4	0,30	0,49	0,90	1,93	5,70	12,27	22,25	36,18	54,58	77,92
1,5	0,32	0,51	0,93	2,00	5,90	12,70	23,03	37,45	56,49	80,66
1,6	0,33	0,53	0,96	2,07	6,09	13,12	23,79	38,68	58,35	83,30
1,7	0,34	0,55	0,99	2,13	6,28	13,52	24,52	39,87	60,14	85,87
1,8	0,35	0,56	1,02	2,19	6,46	13,92	25,23	41,03	61,89	88,36
1,9	0,35	0,58	1,05	2,25	6,64	14,30	25,92	42,15	63,58	90,78
2,0	0,36	0,59	1,07	2,31	6,81	14,67	26,59	43,25	65,23	93,14
2,1	0,37	0,61	1,10	2,37	6,98	15,03	27,25	44,31	66,84	95,44
2,2	0,38	0,62	1,12	2,42	7,14	15,38	27,89	45,36	68,42	97,68
2,3	0,39	0,63	1,15	2,48	7,30	15,73	28,52	46,38	69,95	99,88
2,4	0,40	0,65	1,18	2,53	7,46	16,07	29,13	47,37	71,46	102,02
2,5	0,41	0,66	1,20	2,58	7,61	16,40	29,73	48,35	72,93	104,13
3,0	0,45	0,72	1,31	2,83	8,34	17,96	32,57	52,97	79,89	114,07
3,1	0,45	0,74	1,34	2,88	8,48	18,26	33,11	53,84	81,21	115,95
3,2	0,46	0,75	1,36	2,92	8,62	18,55	33,64	54,70	82,51	117,81
3,3	0,47	0,76	1,38	2,97	8,75	18,84	34,16	55,55	83,79	119,63
3,4	0,47	0,77	1,40	3,01	8,88	19,12	34,68	56,39	85,05	121,43
3,5	0,48	0,78	1,42	3,06	9,01	19,40	35,18	57,21	86,30	123,21
3,6	0,49	0,79	1,44	3,10	9,14	19,68	35,68	58,02	87,52	124,95
3,7	0,49	0,80	1,46	3,14	9,26	19,95	36,17	58,82	88,73	126,68
3,8	0,50	0,82	1,48	3,18	9,39	20,22	36,66	59,61	89,92	128,38
3,9	0,51	0,83	1,50	3,23	9,51	20,48	37,14	60,39	91,09	130,06
4,0	0,51	0,84	1,52	3,27	9,63	20,74	37,61	61,16	92,25	131,71
4,1	0,52	0,85	1,54	3,31	9,75	21,00	38,08	61,92	93,40	133,35
4,2	0,53	0,86	1,55	3,35	9,87	21,26	38,54	62,67	94,53	134,97
4,3	0,53	0,87	1,57	3,39	9,99	21,51	39,00	63,41	95,65	136,56
4,4	0,54	0,88	1,59	3,43	10,10	21,76	39,45	64,14	96,76	138,14
4,5	0,55	0,89	1,61	3,47	10,22	22,00	39,89	64,87	97,85	139,70
4,6	0,55	0,90	1,63	3,50	10,33	22,24	40,33	65,59	98,93	141,25
4,7	0,56	0,91	1,64	3,54	10,44	22,49	40,77	66,29	100,00	142,77
4,8	0,56	0,92	1,66	3,58	10,55	22,72	41,20	67,00	101,06	144,28
4,9	0,57	0,93	1,68	3,62	10,66	22,96	41,63	67,69	102,11	145,78
5,0	0,58	0,94	1,70	3,65	10,77	23,19	42,05	68,38	103,14	147,26
5,1	0,58	0,94	1,71	3,69	10,88	23,42	42,47	69,06	104,17	148,73

Tabla 11. (Cont.) Caudales a plena sección, Fórmula de Manning (n=0,013)

Pendiente S (‰)	Diámetro nominal DN (mm)									
	50 (2")	60 (2,5")	75 (3")	100 (4")	150 (6")	200 (8")	250 (10")	300 (12")	350 (14")	400 (16")
5,2	0,59	0,95	1,73	3,72	10,98	23,65	42,88	69,73	105,19	150,18
5,3	0,59	0,96	1,75	3,76	11,09	23,88	43,29	70,40	106,19	151,61
5,4	0,60	0,97	1,76	3,80	11,19	24,10	43,70	71,06	107,19	153,04
5,5	0,60	0,98	1,78	3,83	11,29	24,32	44,10	71,72	108,18	154,45
5,6	0,61	0,99	1,79	3,87	11,40	24,54	44,50	72,36	109,16	155,85
5,7	0,61	1,00	1,81	3,90	11,50	24,76	44,90	73,01	110,13	157,23
5,8	0,62	1,01	1,83	3,93	11,60	24,98	45,29	73,64	111,09	158,60
5,9	0,62	1,02	1,84	3,97	11,70	25,19	45,68	74,28	112,04	159,97
6,0	0,63	1,02	1,86	4,00	11,80	25,41	46,06	74,90	112,99	161,32
6,1	0,64	1,03	1,87	4,03	11,89	25,62	46,45	75,53	113,92	162,65
6,2	0,64	1,04	1,89	4,07	11,99	25,83	46,82	76,14	114,85	163,98
6,3	0,65	1,05	1,90	4,10	12,09	26,03	47,20	76,75	115,78	165,30
6,4	0,65	1,06	1,92	4,13	12,18	26,24	47,57	77,36	116,69	166,61
6,5	0,66	1,07	1,93	4,16	12,28	26,44	47,94	77,96	117,60	167,90
6,6	0,66	1,07	1,95	4,20	12,37	26,65	48,31	78,56	118,50	169,19
6,7	0,67	1,08	1,96	4,23	12,47	26,85	48,68	79,15	119,40	170,47
6,8	0,67	1,09	1,98	4,26	12,56	27,05	49,04	79,74	120,28	171,73
6,9	0,68	1,10	1,99	4,29	12,65	27,24	49,40	80,33	121,17	172,99
7,0	0,68	1,11	2,01	4,32	12,74	27,44	49,75	80,91	122,04	174,24
7,1	0,69	1,11	2,02	4,35	12,83	27,64	50,11	81,48	122,91	175,48
7,2	0,69	1,12	2,04	4,38	12,92	27,83	50,46	82,05	123,77	176,71
7,3	0,70	1,13	2,05	4,41	13,01	28,02	50,81	82,62	124,63	177,93
7,4	0,70	1,14	2,06	4,44	13,10	28,21	51,16	83,19	125,48	179,15
7,5	0,70	1,15	2,08	4,47	13,19	28,40	51,50	83,75	126,32	180,36
7,6	0,71	1,15	2,09	4,50	13,28	28,59	51,84	84,30	127,16	181,55
7,7	0,71	1,16	2,10	4,53	13,36	28,78	52,18	84,85	128,00	182,74
7,8	0,72	1,17	2,12	4,56	13,45	28,97	52,52	85,40	128,83	183,93
7,9	0,72	1,18	2,13	4,59	13,54	29,15	52,86	85,95	129,65	185,10
8,0	0,73	1,18	2,15	4,62	13,62	29,34	53,19	86,49	130,47	186,27

Tabla 11. (Cont.) Caudales a plena sección, Fórmula de Manning (n=0,013)

Pendiente S (%)	Diámetro nominal DN (mm)									
	50	60	75	100	150	200	250	300	350	400
	(2")	(2,5")	(3")	(4")	(6")	(8")	(10")	(12")	(14")	(16")
8,1	0,73	1,19	2,16	4,65	13,71	29,52	53,52	87,03	131,28	187,43
8,2	0,74	1,20	2,17	4,68	13,79	29,70	53,85	87,57	132,09	188,58
8,3	0,74	1,21	2,19	4,71	13,87	29,88	54,18	88,10	132,89	189,73
8,4	0,75	1,21	2,20	4,73	13,96	30,06	54,50	88,63	133,69	190,87
8,5	0,75	1,22	2,21	4,76	14,04	30,24	54,83	89,15	134,48	192,00
8,6	0,75	1,23	2,22	4,79	14,12	30,42	55,15	89,68	135,27	193,13
8,7	0,76	1,23	2,24	4,82	14,21	30,59	55,47	90,20	136,05	194,25
8,8	0,76	1,24	2,25	4,85	14,29	30,77	55,79	90,71	136,83	195,36
8,9	0,77	1,25	2,26	4,87	14,37	30,94	56,10	91,23	137,61	196,47
9,0	0,77	1,25	2,28	4,90	14,45	31,12	56,42	91,74	138,38	197,57
9,1	0,78	1,26	2,29	4,93	14,53	31,29	56,73	92,25	139,15	198,66
9,2	0,78	1,27	2,30	4,95	14,61	31,46	57,04	92,75	139,91	199,75
9,3	0,78	1,28	2,31	4,98	14,69	31,63	57,35	93,25	140,67	200,84
9,4	0,79	1,28	2,33	5,01	14,77	31,80	57,66	93,75	141,42	201,91
9,5	0,79	1,29	2,34	5,03	14,84	31,97	57,96	94,25	142,17	202,98
9,6	0,80	1,30	2,35	5,06	14,92	32,14	58,27	94,75	142,92	204,05
9,7	0,80	1,30	2,36	5,09	15,00	32,30	58,57	95,24	143,66	205,11
9,8	0,81	1,31	2,37	5,11	15,08	32,47	58,87	95,73	144,40	206,16
9,9	0,81	1,32	2,39	5,14	15,15	32,63	59,17	96,22	145,13	207,21
10,0	0,81	1,32	2,40	5,17	15,23	32,80	59,47	96,70	145,87	208,26
11,0	0,85	1,39	2,52	5,42	15,97	34,40	62,37	101,42	152,99	218,42
12,0	0,89	1,45	2,63	5,66	16,68	35,93	65,14	105,93	159,79	228,13
13,0	0,93	1,51	2,73	5,89	17,36	37,40	67,80	110,26	166,31	237,45
14,0	0,96	1,57	2,84	6,11	18,02	38,81	70,36	114,42	172,59	246,41
15,0	1,00	1,62	2,94	6,33	18,65	40,17	72,83	118,43	178,65	255,06
16,0	1,03	1,67	3,03	6,53	19,26	41,49	75,22	122,32	184,51	263,43
17,0	1,06	1,72	3,13	6,73	19,86	42,76	77,54	126,08	190,19	271,53
18,0	1,09	1,77	3,22	6,93	20,43	44,00	79,78	129,74	195,70	279,41
19,0	1,12	1,82	3,31	7,12	20,99	45,21	81,97	133,29	201,06	287,06
20,0	1,15	1,87	3,39	7,31	21,54	46,38	84,10	136,76	206,29	294,52
21,0	1,18	1,92	3,48	7,49	22,07	47,53	86,18	140,13	211,38	301,79
22,0	1,21	1,96	3,56	7,66	22,59	48,65	88,20	143,43	216,35	308,89
23,0	1,23	2,01	3,64	7,83	23,10	49,74	90,19	146,65	221,22	315,84
24,0	1,26	2,05	3,72	8,00	23,59	50,81	92,13	149,81	225,97	322,63
30,0	1,41	2,29	4,15	8,95	26,38	56,81	103,00	167,49	252,65	360,71

Tabla 11. (Cont.). Caudales a plena sección, Fórmula de Manning (n=0,013)

Pendiente S (‰)	Diámetro nominal DN (mm)									
	50 (2")	60 (2,5")	75 (3")	100 (4")	150 (6")	200 (8")	250 (10")	300 (12")	350 (14")	400 (16")
31,0	1,43	2,33	4,22	9,09	26,81	57,75	104,70	170,26	256,82	366,67
32,0	1,46	2,37	4,29	9,24	27,24	58,67	106,38	172,98	260,93	372,54
33,0	1,48	2,40	4,36	9,38	27,67	59,58	108,03	175,67	264,98	378,32
34,0	1,50	2,44	4,42	9,52	28,08	60,48	109,65	178,31	268,96	384,01
35,0	1,52	2,47	4,49	9,66	28,49	61,36	111,25	180,91	272,89	389,61
36,0	1,54	2,51	4,55	9,80	28,90	62,23	112,83	183,48	276,76	395,14
37,0	1,56	2,54	4,61	9,94	29,29	63,09	114,39	186,01	280,58	400,59
38,0	1,59	2,58	4,68	10,07	29,69	63,94	115,92	188,50	284,35	405,97
39,0	1,61	2,61	4,74	10,20	30,08	64,77	117,44	190,97	288,06	411,27
40,0	1,63	2,65	4,80	10,33	30,46	65,60	118,93	193,40	291,73	416,51
41,0	1,65	2,68	4,86	10,46	30,84	66,41	120,41	195,80	295,36	421,69
42,0	1,67	2,71	4,92	10,59	31,21	67,22	121,87	198,18	298,94	426,80
43,0	1,69	2,74	4,97	10,71	31,58	68,01	123,31	200,52	302,47	431,85
44,0	1,71	2,77	5,03	10,84	31,95	68,80	124,74	202,84	305,97	436,84
45,0	1,73	2,81	5,09	10,96	32,31	69,58	126,15	205,13	309,43	441,78
46,0	1,74	2,84	5,14	11,08	32,66	70,34	127,54	207,40	312,85	446,66
47,0	1,76	2,87	5,20	11,20	33,02	71,11	128,92	209,64	316,23	451,49
48,0	1,78	2,90	5,25	11,32	33,37	71,86	130,29	211,86	319,58	456,27
49,0	1,80	2,93	5,31	11,43	33,71	72,60	131,64	214,06	322,89	461,00
50,0	1,82	2,96	5,36	11,55	34,05	73,34	132,97	216,23	326,17	465,68

C.2 Alcantarillado sanitario sin arrastre de sólidos		Aplicable a: sistema 9	C.2
Nivel de empleo □ Rural disperso □ Rural concentrado +++ Peri-urbano	Nivel de administración ++ Familia +++ CAPYS +++ EPSA	Entrada producto: Aguas negras / grises	
		Salida del producto: Agua residual parcialmente tratada	
Aplicable a zona: Altiplano Valles Llanos			

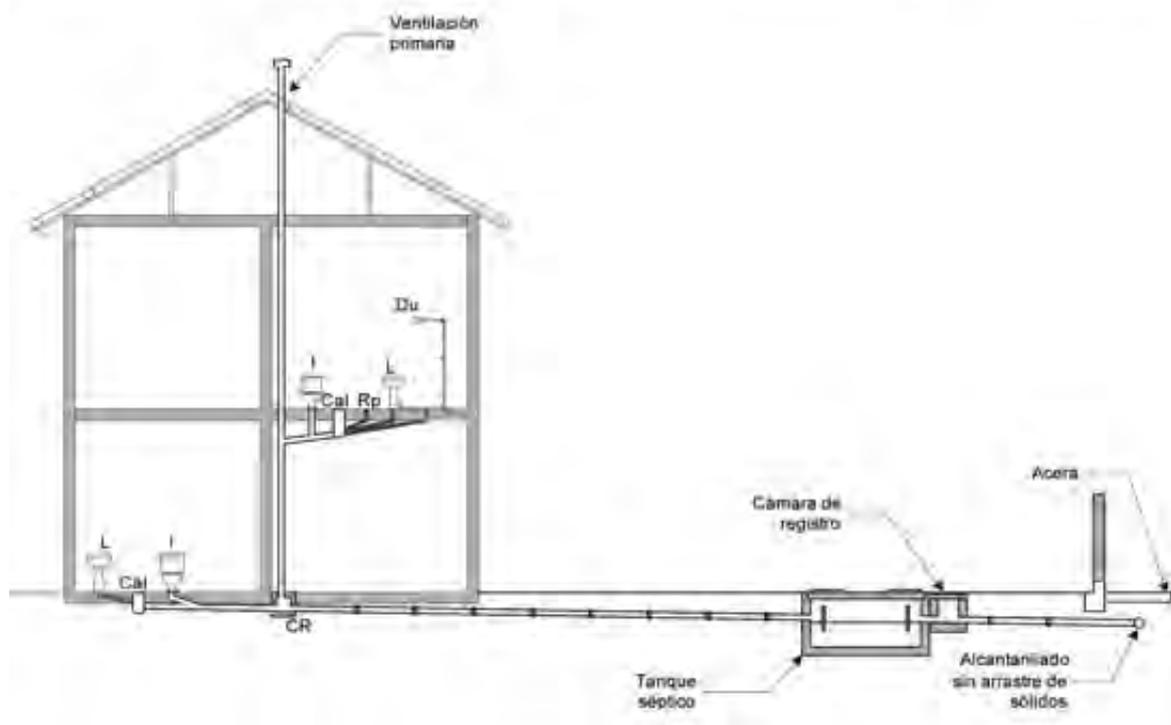


Fig.1. Sistema de alcantarillado sanitario sin arrastre de sólidos

DESCRIPCIÓN

El sistema de alcantarillado sanitario sin arrastre de sólidos (ASAS) es una tecnología de saneamiento que combina el empleo de un tanque séptico interceptor de sólidos y una red pública con tuberías de diámetros reducidos. Se lo conoce también como sistema de alcantarillado sanitario de pequeño diámetro.

Están diseñados, ver Fig.1, de manera tal que la red pública sólo recibe la fracción líquida de las aguas residuales domésticas para su transporte hasta una planta de tratamiento. Los lodos fecales, partículas sólidas como la arena, así como las grasas, aceites, espumas son separados en tanques sépticos instalados en cada vivienda (o que pueden servir a un grupo de viviendas). Los sólidos así acumulados son extraídos periódicamente para su tratamiento y disposición final. La implementación de este sistema exige una activa participación de la comunidad considerando los aspectos socio-culturales y su adaptación a las condiciones locales.

A diferencia del alcantarillado convencional los sistemas de alcantarillado de pequeño diámetro pueden trabajar en condiciones de flujo libre o bajo presión o combinando ambos. En cualquier caso, el perfil hidráulico debe situarse por debajo de la tubería de salida del tanque séptico.

Elementos del sistema

El ASAS lo integran los siguientes componentes i) tanques sépticos; ii) conexiones domiciliarias; iii) red pública iv) instalaciones intradomiciliarias y v) planta de tratamiento de aguas residuales.

Tanque séptico

El tanque séptico (TS) es una unidad de pretratamiento constituido por un tanque hermético enterrado, de una o dos cámaras, con una estructura hidráulica de ingreso y de salida constituida por pantallas deflectoras (ver ficha técnica correspondiente a Tanques Sépticos) y al cuál descargan todas las aguas residuales domésticas provenientes de las instalaciones sanitarias domiciliarias. El volumen del tanque está diseñado para un tiempo de retención hidráulico mínimo de 24 horas, al cuál se adiciona un volumen de almacenamiento de lodos. Como función primordial los tanques sépticos se dimensionan para producir la remoción de sólidos por sedimentación o flotación, de manera tal que el efluente del tanque solo transporta partículas livianas (coloides) que no se sedimentan en la red pública aún con bajas velocidades de flujo. La estabilización parcial de la materia orgánica es otras de las funciones del tanque séptico, produciendo un efluente con menor carga orgánica y menor contenido de sólidos.

Conexión domiciliaria

Es la conexión que conecta el tanque séptico con la red pública de alcantarillado sanitario. Se caracteriza por su pequeño diámetro, entre 50-75 mm, que permite su ligación con la red en condiciones de flujo por gravedad.

Red pública

Los colectores de la red pública están constituidos por tuberías de plástico, PVC, de pequeño diámetro (50 mm a 100 mm) enterradas a una profundidad suficiente para recibir los efluentes de los tanques sépticos por gravedad. Las redes públicas se instalan por las aceras y cuentan con cámaras de inspección para su limpieza y mantenimiento, pudiendo emplearse tuberías de inspección y limpieza (TIL) o terminales de limpieza (TL). En muchas circunstancias se prefieren los TIL o TL, ver Fig.2, por su bajo costo y porque pueden sellarse más herméticamente para evitar la infiltración de aguas y/o deposición de arenas, situación que se produce comúnmente en las cámaras de inspección convencionales.

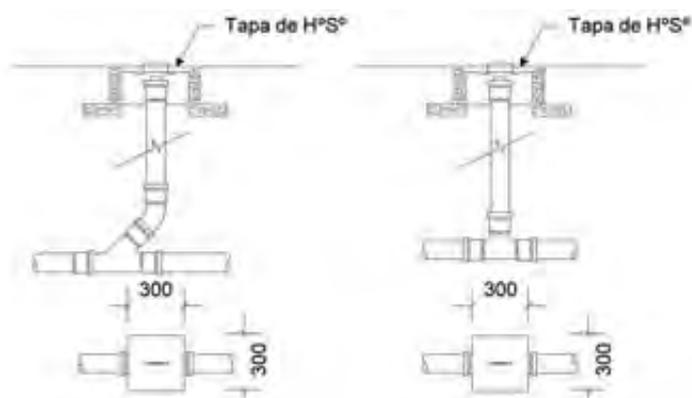


Fig. 2. Tuberías de inspección y limpieza

Toda la red pública se instala por las aceras, la red secundaria, ver Fig. 3, se instala con profundidades mínimas de 250-300 mm. La red primaria o principal, dependiendo del diámetro de los conductos podrá instalarse por la calzada.

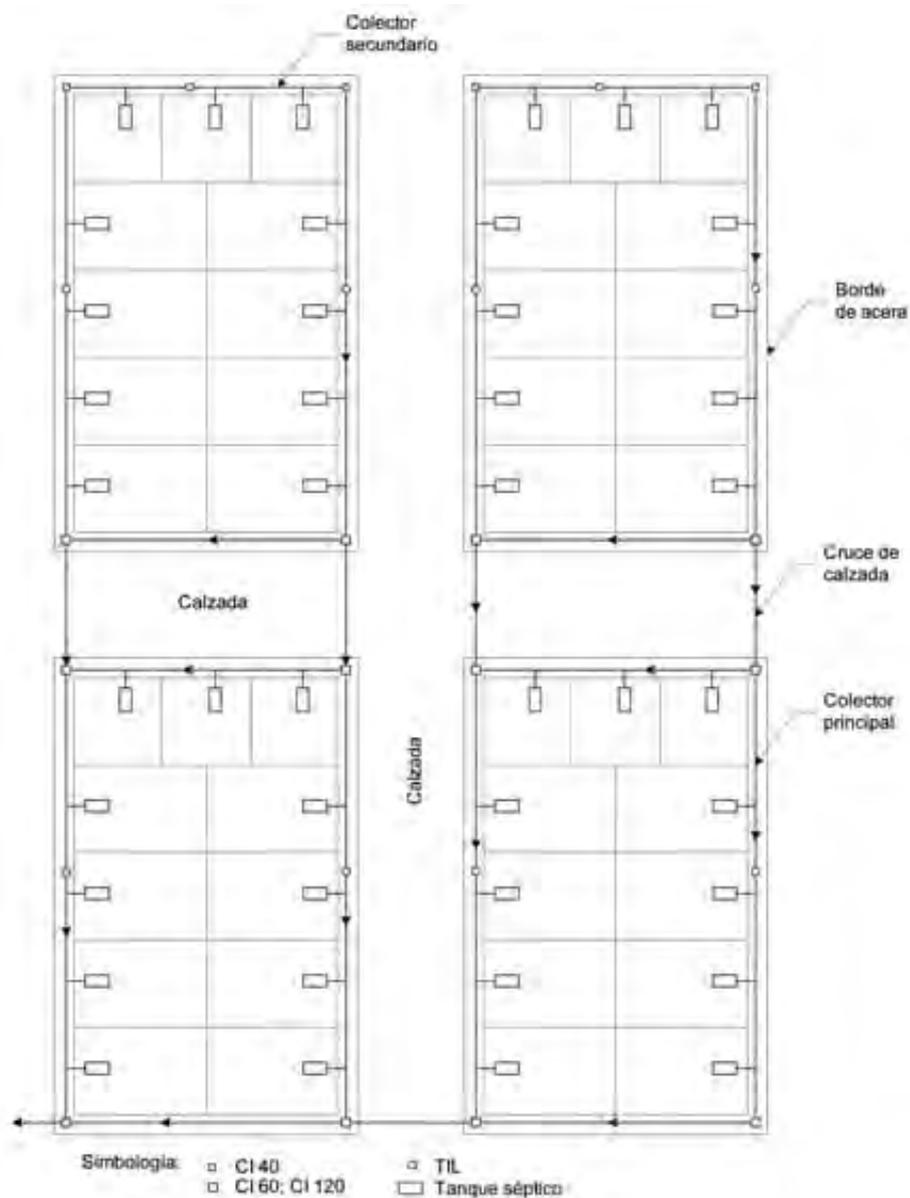


Fig. 3. Red pública de alcantarillado sanitario sin arrastre de sólidos

Tratamiento de aguas residuales

El ASAS produce efluentes con menor contenido de sólidos y de materia orgánica. Los tanques sépticos domiciliarios funcionan como unidades de tratamiento primario de aguas residuales y de digestión de lodos fecales. El ASAS permite el empleo de plantas de tratamiento de menor tamaño y por ende de menores costos de inversión. Su implementación facilita la aplicación de un enfoque descentralizado de los sistemas de recolección de aguas residuales.

Instalaciones sanitarias domiciliarias

El ASAS facilita la implementación de unidades sanitarias básicas en cada vivienda, promoviendo soluciones tecnológicas sencillas y adecuadas a las condiciones socioculturales de cada comunidad.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

La selección del sistema de alcantarillado de pequeño diámetro es ventajosa en los siguientes casos:

- Recolección de aguas residuales de sistemas de saneamiento con descarga hidráulica que cuentan con cámaras sépticas y /o pozos de absorción.
- Recolección de efluentes de aguas grises, en sistemas que cuentan con sistemas in situ de disposición de excretas (baños ecológicos, baños de hoyo seco).
- Recolección de efluentes de tanques sépticos existentes. Cuando la capacidad de absorción del suelo ha sido superada por los crecientes volúmenes de descarga de aguas residuales, la solución del alcantarillado de pequeño diámetro es la solución más económica, pues se aprovecha la infraestructura de las cámaras sépticas, reduciendo los costos de inversión así como los de operación y mantenimiento.
- En terrenos de topografía plana, donde existen limitaciones de excavación y pendientes, los alcantarillados de pequeño diámetro presentan mayor factibilidad técnica y económica.

Opciones del sistema

Los sistemas de alcantarillado de pequeño diámetro tienen las siguientes alternativas;

- i) Sistemas que trabajan en condiciones de flujo bajo presión.
- ii) Sistemas que trabajan en condiciones de flujo libre, canal abierto.

La Tabla 1 establece los principales criterios de selección de los sistemas de alcantarillado de pequeño diámetro. Dependiendo de la modalidad de participación de la comunidad en la gestión de los servicios se pueden implementar con o sin gestión compartida con la EPSA..

- i) En la modalidad de **gestión compartida**, la comunidad participa con su mano de obra y/o materiales en la ejecución de las redes secundarias y es responsable

del mantenimiento y limpieza de los tanques sépticos. Por otra parte la EPSA se hace cargo de la ejecución de los colectores principales y del mantenimiento de la red pública. La limpieza y disposición de lodos sépticos se realiza de acuerdo la reglamentación existente y es responsabilidad del usuario. La instalación de los tanques sépticos es responsabilidad del beneficiario.

ii) En la modalidad de **gestión no compartida**, la EPSA es responsable tanto de la construcción de las redes secundarias como principales, así como, del mantenimiento de todo el sistema, incluyendo la limpieza y retiro de los lodos sépticos. La instalación de los tanques sépticos es responsabilidad del beneficiario.

Tabla 1. Criterios de selección sistemas de alcantarillado de pequeño diámetro

Criterio	Sistema convencional	Alcantarillado sanitario sin arrate de sólidos. Condiciones de flujo	
		Bajo presión	Por gravedad
Condiciones de flujo	Simplificación a un fluido ideal sin arrastre de sólidos	Transporte de fluidos sin arrastre de sólidos	Transporte de fluidos sin arrastre de sólidos
Caudales de infiltración	Se toman en cuenta, puede ser un problema muy significativo.	Se limita.	No se toma en cuenta, despreciable.
Tensión tractiva mínima	Se requiere para evitar la deposición de sólidos ($\tau_{min} = 1.0 \text{ Pa}$)	No es requisito.	No es requisito.
Diámetro mínimo	100 mm	50 mm	50 mm
Sentido de la pendiente	De mayor a menor elevación, pendiente negativa. Se debe mantener en todos los casos.	No se requiere, sigue la topografía del terreno.	Pendientes mínimas de hasta 0.1 % (1‰).
Elementos de inspección	Se requieren en todos los casos, CI espaciadas cada 50 - 100 m	Solo TIL o TL.	CI 40 - CI 60 y TIL o TL.
Profundidad de las tuberías	1,00 m a la clave del colector.	250 - 300 mm	250 - 300 mm
Estaciones de bombeo	Se requieren en zonas planas donde no es posible mantener una pendiente negativa.	Requiere en algunas zonas o áreas de servicio	No requiere, sigue una pendiente negativa.
Facilidades de construcción	Exige grandes volúmenes de excavación e interrupción de vías.	Zanjas de poca profundidad y ancho mínimos.	Zanjas de poca profundidad y ancho mínimos.
Conflicto con otros servicios	Interferencias con otros servicios (telecomunicaciones, electricidad, gas, drenaje pluvial, etc.).	Interferencias mínimas	Interferencias mínimas.
Costos de inversión	Muy elevados, de 300-400 US\$/conex. (sin tratamiento), solo redes de AoSo.	25-50 US\$/conex.	25-50 US\$/conex.

En ambas alternativas de gestión, el componente de educación sanitaria y ambiental es fundamental en cuanto al buen uso de las instalaciones sanitarias interiores y sobre todo en la prevención de conexiones cruzadas del sistema de drenaje pluvial al sistema de alcantarillado sanitario domiciliario.

CRITERIOS DE DISEÑO

El diseño hidráulico es similar en la parte hidráulica al diseño de todo sistema de alcantarillado sanitario.

Caudales de diseño

Los flujos de aguas residuales que recolectan los alcantarillados de pequeño diámetro son amortiguados por los tanques sépticos, regulando los picos de caudal. La función de regulación depende del dimensionamiento del tanque séptico, tiempo de retención hidráulico, y del tiempo en que se descargan las aguas residuales al tanque. En los ASAS para la determinación de los caudales se toma en cuenta el aporte de aguas residuales por vivienda. La descarga de aguas residuales por vivienda depende del número de habitantes y del consumo per cápita.

$$UDV = \frac{C \cdot D \cdot K_1 \cdot K_2}{86400} \cdot n$$

Donde:

UDV: Unidad equivalente de descarga de aguas residuales por vivienda (L/s.viv)
D: Consumo per cápita (L/hab. día), ver Tabla 3, ficha técnica del Sistema de Alcantarillado Sanitario Condominial.

C: Coeficiente de retorno de aguas residuales, varía de 0.60-0.80.

K=K1.k2. Coeficientes punta, diario y horario. K varía de 1,5-2,0

n: Número de habitantes por vivienda (hab/viv)

El caudal de diseño por tramo toma en cuenta la descarga de aguas residuales por vivienda, el aporte por conexiones cruzadas y la contribución por descargas concentradas.

$$Q_d = UDV \cdot N + Q_{cz} + \sum Q_{dc}$$

Donde:

Q_d = Caudal de diseño (L/s)

N: Número de viviendas por tramo de colector

Q_{cz} : Caudal por conexiones cruzadas (L/s)

∑ Q_{dc} : Caudal por descargas concentradas (L/s)

Para una urbanización de tipo residencial, un consumo per cápita de 120 L/hab. día, y un promedio de habitantes por vivienda de 7.5 personas (como valor de saturación al final del periodo de diseño), adoptando C=0,8 y K=2,0, se tiene un caudal de UDV = 0.017 (L/s.viv). Considerando un 10% de conexiones cruzadas (conexiones clandestinas de aguas pluviales), se tiene un caudal diseño de 0,020 L/s.viv.

En zonas de urbanizaciones residenciales consolidadas, el caudal de diseño será igual a:

$$Q_d = K_3 \cdot UDV \cdot N \quad (\text{L/s})$$

Donde:

K_3 : Coeficiente de aporte de conexiones cruzadas. Varía de 1,05-1,10 %.

Diseño hidráulico

Para el diseño hidráulico se aplican las ecuaciones conocidas de la hidráulica, Manning o la de Colebrook – White, sin limitaciones de pendiente mínimas ni consideraciones de la tensión tractiva necesaria para asegurar la autolimpieza de los colectores. La experiencia internacional recomienda velocidades mínimas de 0,15-0,20 m/s para garantizar el transporte de sólidos que pudieran entrar al ASAS. Por razones prácticas la pendiente mínima no deberá ser inferior a 1 ‰. El diámetro es determinado por condiciones hidráulicas de funcionamiento, siendo el mínimo empleado de 50 mm. Por razones de mantenimiento se recomienda diámetros mínimos de 75-100 mm. Para el dimensionamiento se podrán emplear las formulas y tablas de ficha técnica correspondiente al Sistema de Alcantarillado Sanitario Condominial, considerando condiciones de flujo libre y un tirante máximo del 75%. El diseño se simplifica verificando únicamente la velocidad mínima y el tirante para la etapa inicial y final.

Tensión tractiva

El diseño por tensión tractiva garantiza el arrastre de partículas que sedimentan en la solera de un conducto de aguas residuales, facilitando de este modo las condiciones de su autolimpieza. El valor de 1.0 Pa para la tensión tractiva, como valor mínimo establecido por la NB 688, toma en cuenta la situación más desfavorable de sólidos encontrados en los sistemas de alcantarillado sanitario y que corresponden a partículas discretas de arena con diámetros que varían de 0,10-0,40 mm. El valor de 1,0 Pa garantiza, con un buen margen de seguridad, las condiciones de autolimpieza de un colector sanitario. Una de las causas principales de presencia de partículas de arena en los colectores, es el arrastre de sólidos causado por las descargas clandestinas de aguas pluviales. Esta situación, que es crítica en los sistemas convencionales, es evitada en el ASAS por la función que cumple el tanque séptico de remover todas las partículas discretas que pudieran ser conducidas por el sistema, logrando de este modo un efluente libre de partículas pesadas.

La tensión tractiva mínima que garantiza la autolimpieza en los colectores se calcula por:

$$T_{\min} = f \cdot (\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot d$$

Donde:

T_{\min} = Tensión tractiva mínima en Pa.

ρ_s = Densidad de la partícula en (kg/m³)

ρ_w = Densidad del agua, 1 000 (kg/m³)

g = Constante gravitacional, 9.81 (m/s²)

d = Diámetro de la partícula en m (90-95% a ser transportadas)

f = Constante 0,04-0,08, valor promedio 0,06

Para partículas orgánicas encontradas en aguas residuales, generalmente con un diámetro máximo de 1,0 mm, y con un peso específico de 1010 kg/m³, se tiene una tensión tractiva mínima, $T_{\min} = 0.006$ Pa, valor que no es crítico para el diseño hidráulico de los sistemas sin arrastre de sólidos.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Tanques sépticos

Los tanques sépticos son el elemento esencial para el funcionamiento del ASAS, los cuales se diseñan de acuerdo a lo señalado en la ficha técnica correspondiente a Tanques Sépticos. Estos deben cumplir con los requisitos de hermeticidad, periodo mínimo de retención de aguas residuales (24 hrs.) y considerar un volumen de almacenamiento de lodos para periodos de limpieza de uno a cinco años.

Profundidad mínima

Por el tamaño de los conductos y su instalación en las aceras, el modelo ASAS exige menores profundidades de excavación, facilitando el empleo de tuberías de PVC como la mejor opción de instalación. La profundidad del colector, medida desde el nivel de piso terminado a la clave del tubo, deberá cumplir con las mínimas indicadas en la Tabla 2. En caso de que la red pública se instale en la calzada, la profundidad dependerá del tipo de tráfico a considerar. El ancho de las zanjas no será inferior a DN + 300 mm.

Tabla 2. Profundidad mínima para tuberías de alcantarillado sanitario sin arrastre de sólidos

Cargas	Profundidad mínima (m)
Circulación peatonal al interior de lotes, jardines.	0,30
Circulación peatonal en aceras y veredas públicas.	0,60
Tráfico de vehículos livianos	0,80
Tráfico de vehículos pesados	1,20

Elementos de inspección

El sistema ASAS requiere de un mínimo de elementos de inspección, los mismos que deben garantizar su hermeticidad a objeto de evitar la introducción de objetos extraños y/o materia sólida. En las conexiones domiciliarias se emplean cámaras de inspección de dimensiones reducidas, cajas de paso (no accesibles) o ramales de PVC. Para las tareas de limpieza y mantenimiento se deben prever TIL's o cámaras de inspección cada 50-70 m. Las dimensiones de las cámaras de inspección y cajas de paso se indican en la Tabla 3 (ver figuras en la ficha técnica correspondiente al sistema de Alcantarillado Sanitario Condominial).

Tabla 3. Dimensiones mínimas de cámaras de inspección

Descripción	Dimensiones mínimas (m)	Profundidad máxima del colector (h) (m)	Observación
Caja de paso	0,30 x 0,30	Sin accesibilidad	En las conexiones domiciliarias
Cámara de inspección CI 30	0,30 x 0,30	$h \leq 0,90$	Pueden ser de Secc. circular DN 300. En la red pública
Cámara de inspección CI 40	0,40 x 0,40	$h \leq 0,90$	Pueden ser de Secc. circular DN 400. En la red pública
Cámara de inspección CI 60	0,60 x 0,60	$0,90 < h \leq 1,20$	Pueden ser de Secc. circular DN 600. En la red pública.
Cámara de inspección CI 120, diámetro :	1,20	$1,20 < h$	Con boca de acceso de 0,60 m. En la red pública.
Cámara de inspección Secc. circular CI 150, diámetro :	1,50	$1,20 < h$	Con boca de acceso de 0,60 m. En la red pública

Las tuberías de Inspección y Limpieza (TIL's), son dispositivos no visitables que permiten la inspección visual y la introducción de equipos de limpieza. Se emplean en sustitución de los pozos de visita. Las TIL's deben ubicarse en todos los cambios de dirección y puntos altos de la red, en zonas planas y extensas deben ubicarse a intervalos de 100-200m.

Los terminales de limpieza son dispositivos no visitables que se localizan en los arranques o cabecera de los colectores. Puede ser empleado en sustitución de los pozos de visita o cajas de inspección instalados en el inicio de los colectores.

Materiales empleados

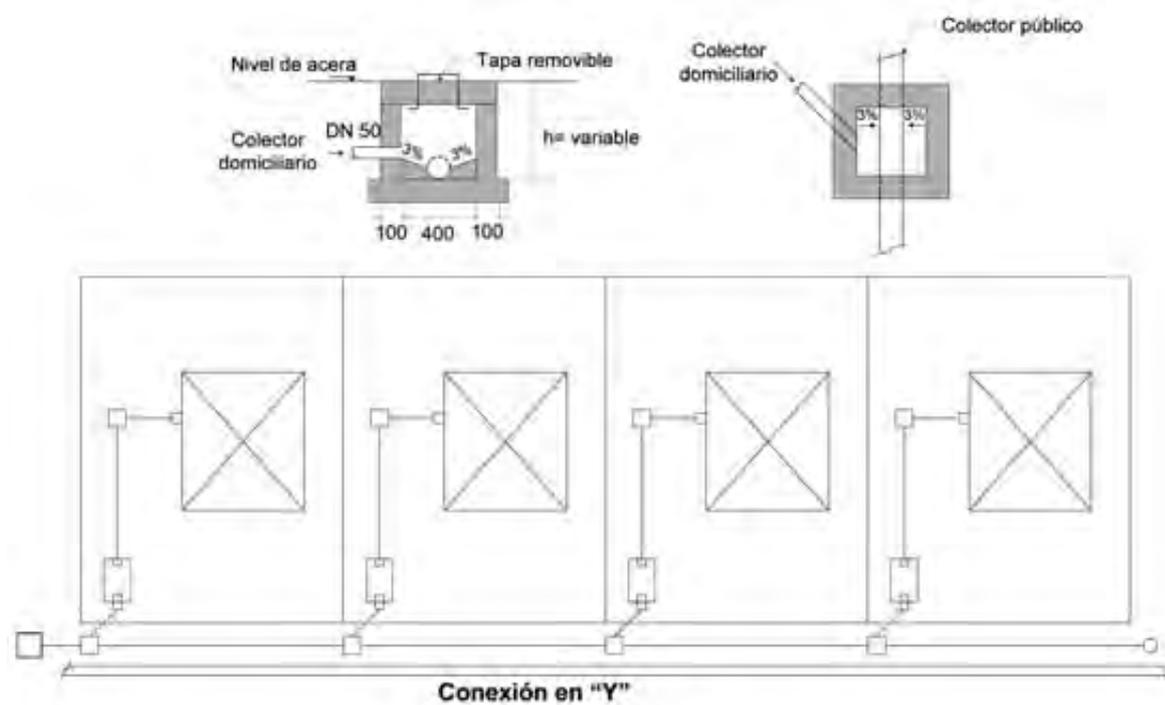
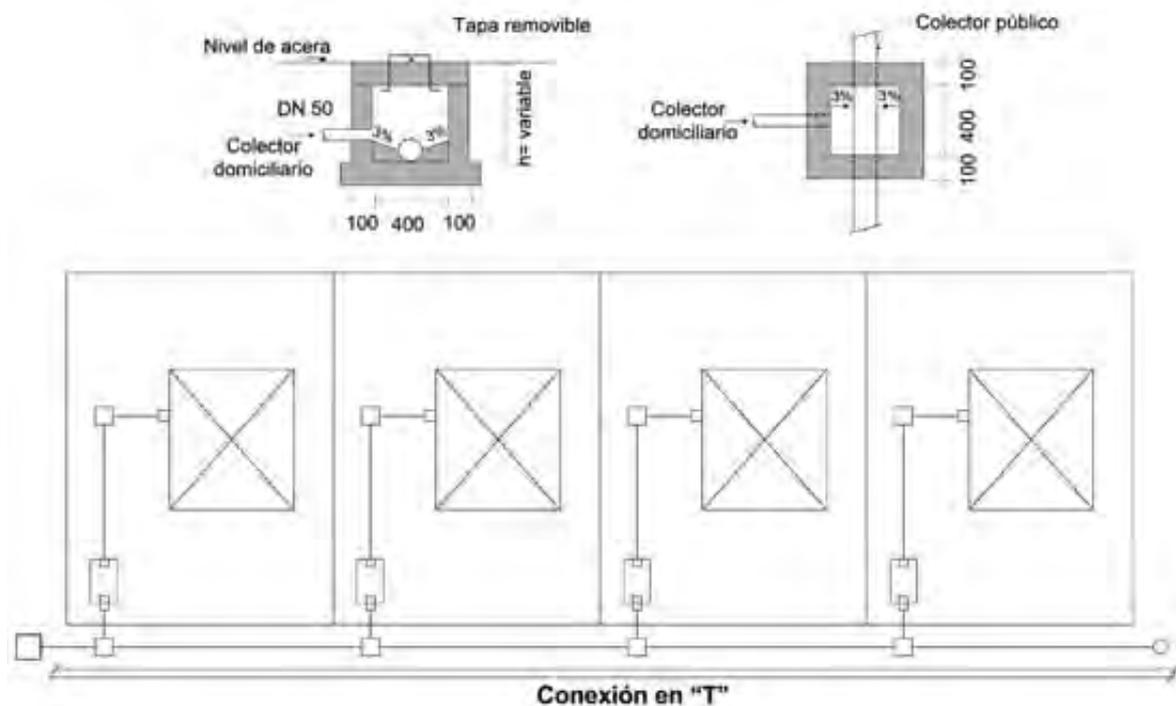
Por la facilidad de montaje, tamaño y la exigencia de evitar la infiltración de aguas pluviales se emplean tuberías de PVC, dependiendo del diámetro, en la red pública se podrán emplear tuberías de hormigón y/o cerámica. Debido a su mayor durabilidad y estanqueidad, el empleo de tuberías de PVC en todo el sistema reduce los costos de instalación así como los de operación y mantenimiento.

En la construcción de los elementos de inspección podrán emplearse mampostería de ladrillo, piedra o estructuras prefabricadas de hormigón.

Conexión domiciliaria

Es recomendable que la ubicación del tanque séptico garantice la accesibilidad para la limpieza y evacuación de los lodos acumulados en el mismo, de preferencia en un área más próxima a la calzada. La Fig.4 muestra detalles de la conexión domiciliaria aplicando diferentes opciones. La conexión domiciliaria se podrá realizar a través de cámara de inspección, a través de un tramo de tubería provista de un accesorio no visible "T" o 'Y' o una caja de paso no visible. Considerando el pequeño diámetro de las tuberías, es factible el empleo de accesorios en "Y" que mejoran las condiciones de flujo. Dadas las condiciones de flujo del efluente del

tanque séptico la pendiente de la tubería de conexión domiciliar con la red pública se reduce a valores de 2-5‰.



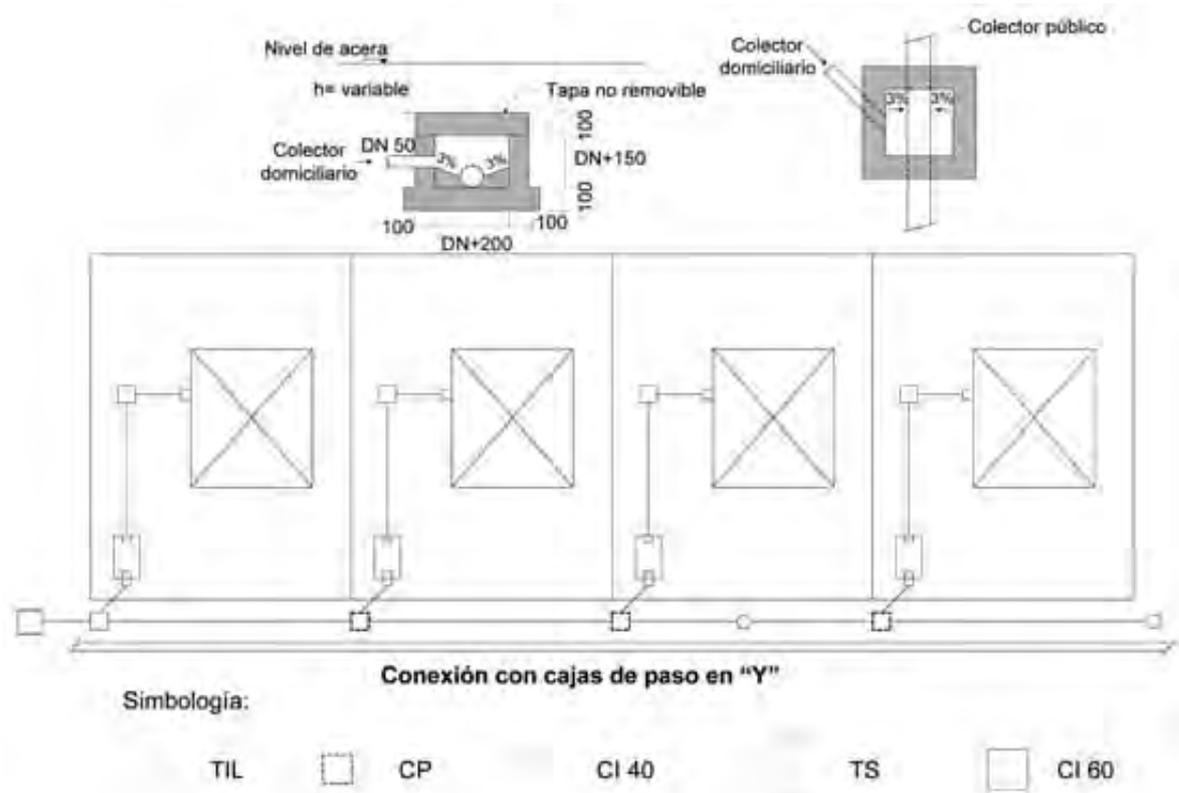


Fig. 4. Opciones de conexión domiciliaria

Instalaciones sanitarias domiciliarias

En viviendas de tipo social, el ASAS, por el modelo de implantación, que incentiva la participación de la comunidad, considerar la instalación de una unidad sanitaria básica que conste al menos de un inodoro, lavamanos, cocina, ducha, y lavandería. Para cualquier otro tipo de vivienda el ASAS se adapta a las condiciones establecidas en el Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias.

Costos

Comparando con los costos de inversión del alcantarillado sanitario convencional, el ASAS requiere de menos recursos de financiamiento para la inversión así como para el mantenimiento de las instalaciones.

Con el tratamiento primario provisto en las viviendas familiares, se remueven todos aquellos desechos sólidos que pudieran causar el atoramiento u obstrucción de los colectores. Por otra parte, los caudales pico son atenuados significativamente aproximando los caudales máximos a los caudales promedio, de esta manera, las condiciones hidráulicas de funcionamiento son significativamente diferentes al de un alcantarillado convencional, que se fundamenta en garantizar el transporte de los sólidos fecales contenidos en las aguas residuales. En el ASAS las condiciones hidráulicas se fundamentan en el transporte de la parte líquida de las aguas residuales, reteniendo la parte sólida en el tanque séptico, logrando diámetros menores de los conductos, menores volúmenes de excavación, menores costos de mano de obra, reducción de cámaras de inspección, etc. factores que en conjunto se traducen en menores costos de inversión.

A nivel nacional los costos estimados por conexión alcanzan a USD 50-70/conex, sin considerar los costos de instalación de los tanques sépticos (que pueden ser financiados por el beneficiario). A nivel internacional, la experiencia colombiana presenta costos de USD 330/viv. que incluye la instalación del tanque séptico, la red pública y el tratamiento de las aguas residuales.

Con relación a los costos de mantenimiento estos son mínimos en comparación con el alcantarillado sanitario. El mantenimiento requerido se traduce a una limpieza preventiva y no requiere de equipamiento sofisticado ni personal altamente calificado. El sistema trabaja con caudales mínimos (requiere poca cantidad de agua para su funcionamiento) y las obstrucciones y taponamientos debido a la presencia de objetos o sólidos que pudieren ser descargados a la red pública, se impiden por la presencia del tanque séptico que los retiene a todos. No obstante, en caso de presentarse problemas de funcionamiento en la red pública, las tareas de limpieza se facilitan por la poca profundidad de los colectores y los elementos de inspección instalados.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las tareas de mantenimiento del sistema de alcantarillado sin arrastre de sólidos deben realizarse de manera integral entre la EPSA y la población beneficiaria. La responsabilidad de la operación y mantenimiento de la red pública es de la EPSA, mientras que el mantenimiento de los tanques sépticos depende del tipo de gestión acordado con la comunidad. En el caso de tener una gestión compartida del sistema, el mantenimiento de los tanques sépticos corresponde a los vecinos beneficiados; si la implementación del proyecto es un modelo sin gestión compartida, las tareas de mantenimiento, tanto de los tanques sépticos como de la red pública, es de responsabilidad de la EPSA. En general los ASAS requieren muy poco mantenimiento. La única tarea regular que se debe efectuar es la remoción del lodo de cada tanque séptico domiciliario. Como medida de prevención se recomienda la limpieza hidráulica de la red pública como parte de un plan de mantenimiento preventivo. De acuerdo a la experiencia internacional, en ninguno de los sistemas en uso ha sido necesaria la limpieza de los colectores principales.

En ningún caso debe permitirse la captación del drenaje superficial en el tanque séptico. Es importante que el proyecto considere el sistema de drenaje superficial en forma independiente.

Colectores principales

La limpieza hidráulica de la red principal de colectores públicos, es suficiente para remover la mayoría de los sólidos sedimentados. La limpieza debe empezar en los extremos terminales superiores de los colectores y continuar aguas abajo, considerando cada sección entre las TIL's o cámaras de inspección. Se llena cada sección de la red con agua proveniente de un cisterna hasta lograr una carga suficiente para generar una velocidad de flujo de por lo menos 0,50 m/s en la sección. De presentarse obstrucciones se deberán emplear equipos especiales de limpieza, como hidrojets, que permitan la remoción de sólidos presentes en la tubería.

Las tuberías de inspección y limpieza y las cámaras de inspección proporcionan los puntos de acceso para la limpieza y mantenimiento de los colectores. Es recomendable las TIL's en lugar de cámaras de inspección, puesto que la limpieza hidráulica (hidrojets) es suficiente para remover los sólidos orgánicos acumulados

en la red. Excepto en las intersecciones principales, en lo posible se deben evitar las cámaras de inspección por el riesgo de constituirse en una fuente de infiltración de aguas pluviales y de ingreso de materia sólida (arenas, residuos sólidos, etc.).

Tanques sépticos

La limpieza de los tanques sépticos debe responder a una programación periódica, contemplando una inspección anual y la remoción de lodos cuando sea necesario. Esta tarea deberá ser acordada entre el usuario y la EPSA. Por la sensibilidad que representa el funcionamiento correcto de los tanques sépticos, es recomendable que el mantenimiento de esta unidad quede a cargo del operador del servicio (EPSA). Las tareas específicas de operación y mantenimiento de estas unidades se describen en forma detallada en la ficha técnica correspondiente a la descripción de la tecnología de Tanques Sépticos. La Fig. 5 muestra la ubicación típica de una cámara séptica a objeto de facilitar las tareas de operación y mantenimiento.

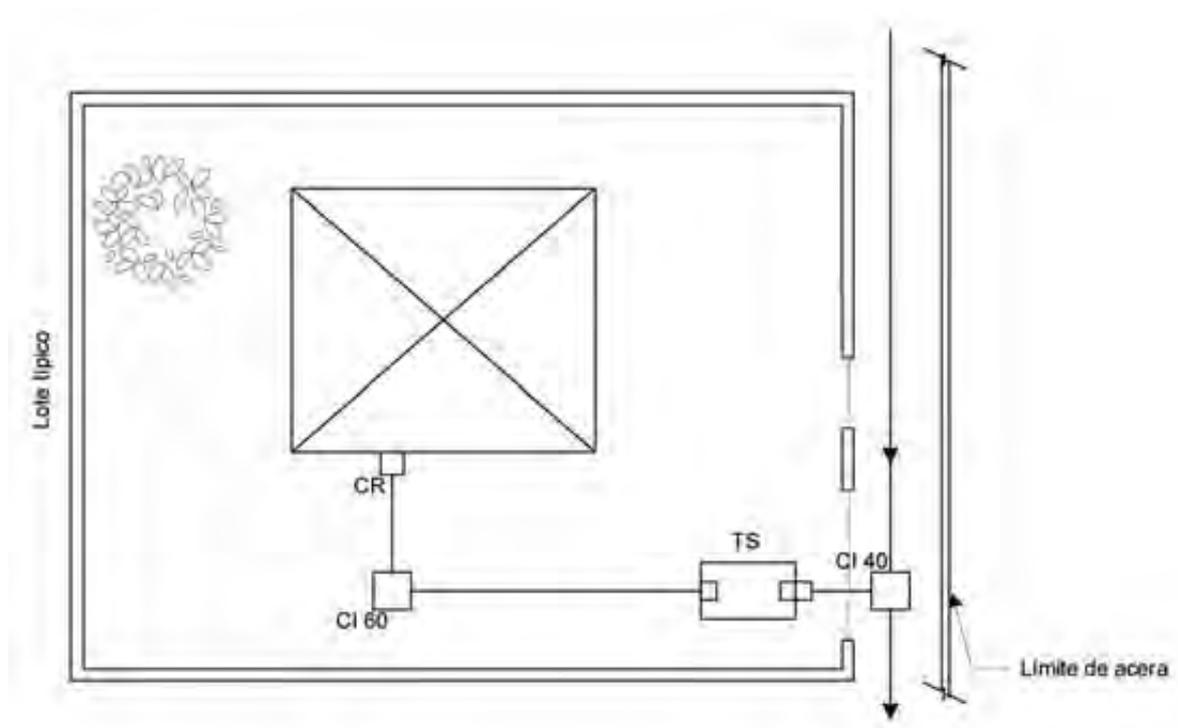


Fig. 5. Ubicación típica de una cámara séptica conectada a un ASAS

La Tabla 4, nos muestra un resumen de las principales actividades de operación y mantenimiento de los sistemas de alcantarillado sanitario sin arrastre de sólidos.

Tabla 4. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Elaboración y difusión de manuales de O&M preventivo y correctivo. Difusión instrumentos normativos.	Talleres de capacitación y difusión de los manuales de O&M, periodicidad del mantenimiento preventivo.
Inspección periódica del tanque séptico.	Implementación de un plan de limpieza periódica de tanques sépticos.
Control de conexiones cruzadas en colectores domiciliarios y red pública.	Revisión e inspección de conexiones pluviales clandestinas en las instalaciones domiciliarias y en la red pública.
Control y monitoreo de caudales en el caudal afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.	Identificación de problemas de infiltración de aguas subterráneas y/o de aguas pluviales. Control durante la época seca y de lluvias. Registro de caudales.
Inspección periódica de TIL's y cámaras de inspección.	Revisión de descargas de residuos sólidos, estado físico de tapas y accesos, control de hermeticidad de cámaras, etc.
Limpieza de colectores principales en la red pública.	Implementación de un plan de mantenimiento preventivo de la red principal de colectores.
Registro de obstrucciones en ramales y red pública.	Levantamiento de información a cargo de la EPSA y los usuarios, mantenimiento de un registro de O&M.

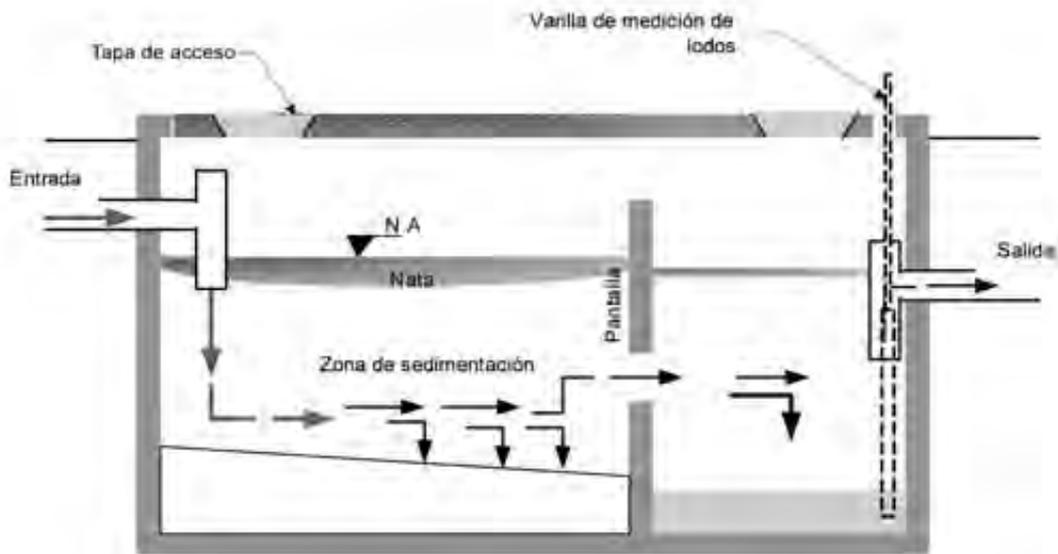
VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas	Desventajas
<p>Es la solución de menor costo de inversión en comparación del alcantarillado convencional (25% - 30%).</p> <p>Menores costos de mantenimiento de la red pública.</p> <p>Involucra a la comunidad en la gestión del servicio, diseño, construcción, mantenimiento.</p> <p>Mejor funcionamiento hidráulico de la red pública..</p> <p>Menor impacto ambiental, el tanque séptico produce un efluente con un tratamiento primario. Los efluentes tienen menor contenido de sólidos (remueve el 100% los sólidos decantables) y materia orgánica (20-30% menos).</p> <p>Reduce los costos de inversión de tratamiento posterior de aguas residuales.</p> <p>Requiere el consumo de menores cantidades de agua y facilita la implementación de artefactos de bajo consumo.</p> <p>Fácil de aplicar en viviendas que ya cuentan con instalación de tanques sépticos.</p> <p>Facilita el reuso de las aguas residuales con tratamientos basados en procesos naturales (humedales) a nivel domiciliario.</p>	<p>Requiere de un sistema establecido de recolección y tratamiento de lodos fecales regulado por la autoridad competente.</p> <p>Vulnerable a la infiltración de aguas subterráneas y conexiones cruzadas de aguas pluviales.</p> <p>Requiere un proceso previo de participación comunitaria, para su involucramiento y concientización social sobre las condiciones de su uso y aplicación.</p> <p>Vulnerable a la introducción de residuos sólidos (basuras) y partículas sólidas al sistema.</p> <p>Requiere de instalaciones especiales para la descarga de aguas residuales de tipo comercial y/o industrial.</p>

Referencias

- Richard J. Otis y D. Duncan Mara. Diseño de Alcantarillado de Pequeño Diámetro. Mayo de 1985.
- Crites – Tchobanoglous. Small and Decentralized Wastewater Managesment Systems. Mc Graw Hill, 1998.
- OPS/OMS. Guía para el Diseño de Tecnologías de Alcantarillado. Lima, 2005.
- Duncan Mara. Low Cost Sewerage. John Wiley & Sons, 1996.
- Rizo Pombo José Henrique. Alcantarillado sin Arrastre de Sólidos (ASAS). Congreso de ACODAL 2007.

R.6	Tanque séptico	Aplicable a: sistema 7 - 8	R.6
Nivel de empleo	Nivel de administración	Entrada producto:	Aguas negras / grises
<input type="checkbox"/> Rural disperso	<input checked="" type="checkbox"/> Familia	<input type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Rural concentrado	<input checked="" type="checkbox"/> CAPYS	Salida del producto:	Agua residual parcialmente tratada
<input checked="" type="checkbox"/> Peri-urbano	<input checked="" type="checkbox"/> EPSA	<input type="checkbox"/>	
Aplicable a zona:			
<input checked="" type="checkbox"/> Altiplano	<input checked="" type="checkbox"/> Valles	<input checked="" type="checkbox"/> Llanos	



Fuente ewag-2005

Fig. 1. Tanque séptico de una cámara

DESCRIPCIÓN

El tanque séptico es un sistema de tratamiento primario de aguas residuales donde se combinan, en un mismo compartimiento, tanto los procesos de sedimentación y flotación, así como la digestión de sólidos. Está destinado básicamente a remover los sólidos sedimentables presentes en las aguas residuales (separación gravitacional) y acumularlos para su digestión anaeróbica, reduciendo de esta manera la carga orgánica y el volumen final de sólidos. Asimismo, los aceites y grasas presentes en las aguas residuales se acumulan en la parte superior del tanque (flotación), constituyéndose en una zona de espumas o natas, ver Fig.1.

Por la simplicidad de su construcción y mantenimiento es una tecnología muy difundida y se ha adoptado como solución sanitaria en viviendas familiares, centros educativos, y/o en sistemas descentralizados de tratamiento urbano - periurbanos.

Las cámaras sépticas, adecuadamente construidas y mantenidas, permiten tratar las aguas residuales transformando la materia orgánica en compuestos líquidos más simples y estables y en gases de digestión como el dióxido de carbono (CO_2); hidrógeno (H_2), metano (CH_4) y ácido sulfhídrico (H_2S). Debido al proceso anaeróbico

que tiene lugar, la emisión de olores indeseables es inevitable, por lo cual los tanques deben sellarse herméticamente y ser provistos de ventilación individual o liberar los gases a través de la ventilación primaria del sistema de alcantarillado sanitario de una vivienda. Para una adecuada operación, los lodos acumulados en la parte inferior del tanque deben ser vaciados dentro de un periodo de uno a tres años. El efluente del tanque séptico así como los lodos retirados aún contienen elevadas concentraciones de materia orgánica, y patógenos, por lo cual requieren de un tratamiento secundario previo a su disposición final.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los tanques sépticos (TS) se emplean como tratamiento primario de las aguas negras y/o grises provenientes del consumo doméstico y son principalmente destinados a la remoción de la mayor parte de sólidos suspendidos y sedimentables.

La eficiencia de tratamiento de un tanque séptico, bien diseñado y operado, se expresa normalmente en función de la remoción de sólidos suspendidos (SS) y de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5). La Tabla 1, muestra los porcentajes de remoción de SS (50 % - 70%) y DBO_5 (15% - 30%), que siendo bajos, muestran la necesidad de que los efluentes requieran de un tratamiento secundario antes de su reutilización o disposición final.

En zonas carentes de alcantarillado sanitario, el sistema convencional de tanque séptico incluye el tratamiento secundario de los efluentes que se descargan en un área de infiltración o percolación, proceso por el cual se mejora las tasas de remoción de contaminantes. Este sistema es eficiente cuando el sitio de infiltración se lo selecciona adecuadamente y cuando se cumplen las tareas de operación y mantenimiento correspondientes (ver ficha técnica correspondiente a Sistemas de Infiltración).

Como otras opciones de tratamiento secundario pueden emplearse filtros anaerobios (FAn) o humedales artificiales (HA), ver Fig. 2. En estos sistemas los filtros anaerobios y los humedales artificiales actúan como un tratamiento biológico que combina los procesos físicos, químicos y microbiológicos que se desarrollan en un medio filtrante (FAn) y/o por la interacción con plantas acuáticas (HA). Ambos tipos de tratamiento secundario sirven para la reducción de la carga orgánica y contaminación microbiológica de acuerdo al uso o disposición final (curso superficial, riego controlado, etc.). En caso necesario se requerirá un proceso terciario de tratamiento y/o desinfección por medio de radiación ultravioleta. En sistemas donde es posible contar con un sistema de alcantarillado sanitario sin arrastre de sólidos, los tanques sépticos pueden emplearse para dos fines: remoción de la mayor parte de los sólidos suspendidos y como tanque de amortiguación de los picos de caudal.

La experiencia en Bolivia y muchos países indica que la limpieza y retiro de lodos a nivel familiar presenta problemas en cuanto a su ejecución, la cual no se realiza o se la hace en forma irregular, creando problemas de contaminación ambiental e impactos negativos en la salud pública.

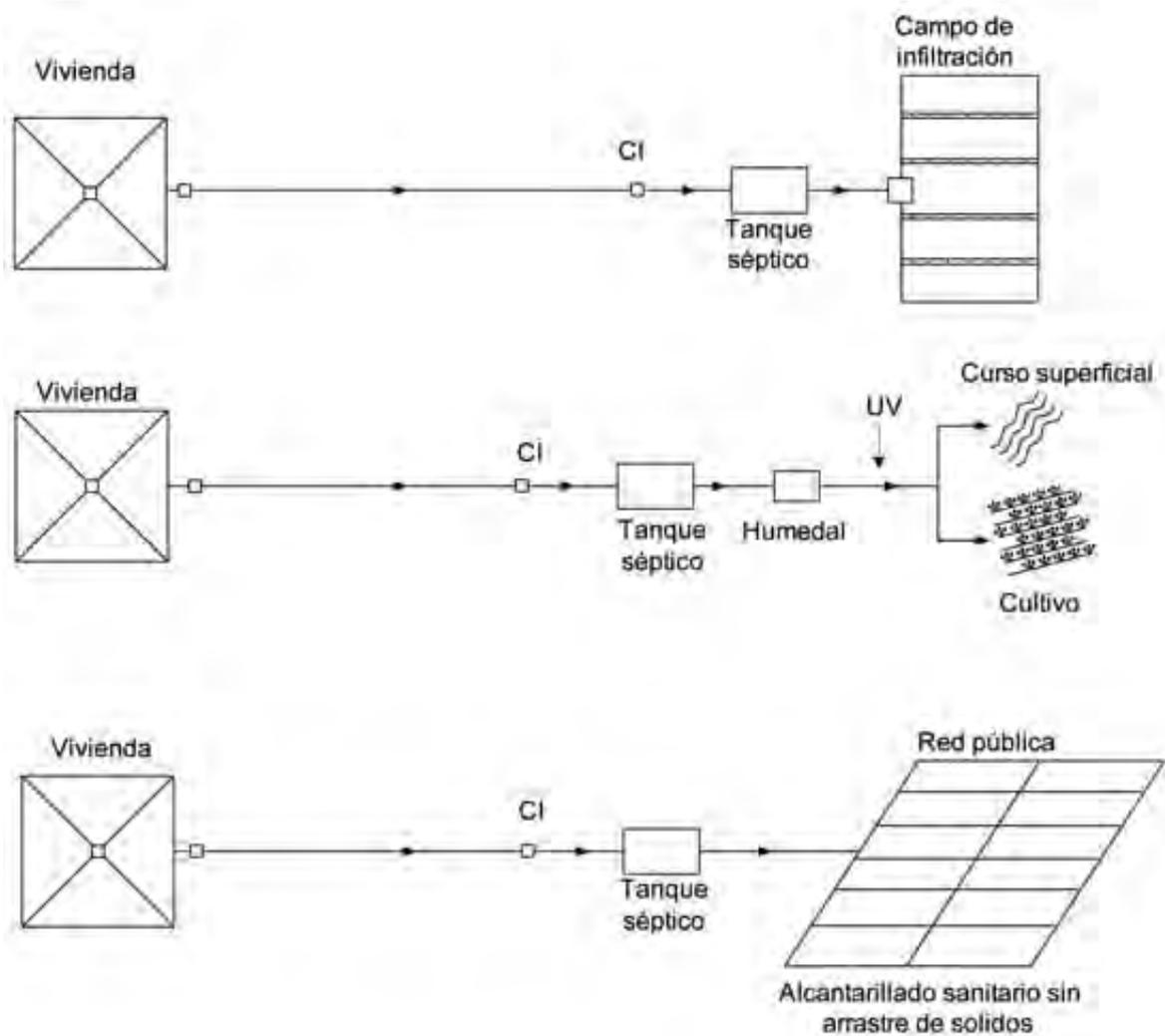


Fig. 2. Opciones de tratamiento secundario. Efluentes de tanques sépticos

CRITERIOS DE DISEÑO

Un tanque séptico debe tener suficiente volumen para garantizar el tiempo de retención necesario para garantizar la sedimentación de la mayor parte de los sólidos suspendidos/sedimentables así como reservar el volumen necesario para el almacenamiento y digestión de lodos. El factor crítico para la determinación del volumen de almacenamiento de lodos está definido por el número máximo de personas que pueden habitar en una vivienda, y de la frecuencia de limpieza o retiro de los lodos. El volumen mínimo no deberá ser inferior a 500 litros.

El volumen total de un tanque séptico podrá determinarse aplicando la fórmula general:

$$V_{ts} = N \cdot (C \cdot t_R + 100 \cdot P) \quad (L)$$

Donde:

V_{ts} = Volumen útil del tanque séptico en litros (L)

N = Número de personas por vivienda, mínimo 5 personas.

t_R = Tiempo de retención en días (d)

C = Contribución de aguas residuales per cápita (L/hab. día)

P = Periodo de limpieza de lodos en años (años).

El tiempo de retención, en el caso de viviendas residenciales con un número máximo de 30 personas, mínimo recomendable es de 24 horas (como medida de atenuación de los picos de caudal y garantizar un mejor proceso de tratamiento primario). El volumen de almacenamiento de lodos podrá calcularse considerando una producción de lodos digeridos de 100 L/hab. año (Imhoff). Aplicando estos valores y considerando un periodo mínimo de un año para la limpieza de lodos tendremos:

$$V_{ts} = N \cdot (C + 100) \quad (L)$$

Para pequeñas comunidades y urbanizaciones y/o viviendas con mas de 30 personas, se podrá reducir el tiempo de retención a 0.5 días. En estos casos se recomienda un número máximo de población contribuyente de 500 habitantes. La Tabla 1, presenta el volumen útil de un tanque séptico para viviendas familiares que ha sido determinado para una contribución de C = 120 L/hab/día, y un periodo máximo de almacenamiento de lodos de un año. El volumen total deberá incluir un volumen equivalente a un borde libre de 300 mm, ver Fig. 3.

Tabla 1. Volumen útil de tanques sépticos.

No habitantes por vivienda	Contribución aguas residuales (L/hab/día)	Periodo de almacenamiento de lodos (años)	Volumen de almacenamiento aguas residuales	Volumen de lodos	Volumen útil del tanque séptico
			Litros	Litros	Litros
5	120	1	600	500	1 100
10	120	1	1 200	1 000	2 200
15	100	1	1500	1 500	3 000
20	120	1	2,400	2 000	4 400
25	120	1	3 000	2 500	5 500
30	120	1	3 600	3 000	6 600

El diseño debe ser completado con un tratamiento secundario (lechos de infiltración, humedales, etc.) previa la disposición final del efluente (riego, curso superficial). La Fig. 2, muestra las diferentes opciones de tratamiento secundario que se pueden considerar. En zonas de baja capacidad de infiltración de suelos, es recomendable el uso de artefactos sanitarios de bajo consumo de agua (inodoros de 3 - 6 Litros por descarga) a objeto de reducir los volúmenes de generación de aguas residuales.

La Tabla 2, indica los parámetros principales a considerar en el diseño de un tanque séptico.

Tabla 2. Guías de diseño de tanques sépticos

Parámetros	Valores / Recomendaciones
Remoción de sólidos suspendidos	50% - 70%
Remoción de bacterias coliformes	≤ 1 Unid. Log.
Reducción de materia orgánica BOD	15 % - 30%
Tiempo de retención hidráulico	12 - 24 horas
Volumen útil	$V_u = N*(C*tR + 100*P)$
Relación largo / ancho	3 : 1
Número de cámaras	1 - 2
Número máximo de contribuyentes (N) en viviendas aisladas.	30 personas
Contribución per cápita (C) de aguas residuales (L/hab.día)	50 - 120 (L/hab.día)
Periodo de limpieza de lodos (P).	1 - 5 años
Volumen del compartimiento de ingreso	2 / 3 - 3/4 del volumen útil
Altura interior mínima	1200 mm
Altura mínima de agua	900 mm
Borde libre del nivel de agua	300 mm
Diferencia de elevación entre la tubería de ingreso y salida	75 mm
Distancia de la base del tanque al orificio de salida con la segunda cámara.	450 mm
Tuberías de ingreso y salida (diámetro mínimo)	100 mm
Ventilación en cada cámara	100 mm
Accesos al tanque (uno por cámara)	600 x 600 mm

En viviendas familiares la ubicación del tanque séptico debe considerar los accesos necesarios para el retiro de lodos mediante carros cisterna, asegurando una ventilación adecuada. Para tanques sépticos de pequeñas urbanizaciones se debe considerar también el acceso vehicular y peatonal para el retiro de lodos, asimismo considerar el área necesaria de la planta de tratamiento incluyendo el cercado de las instalaciones.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Los detalles constructivos deben seguir lo señalado en la Tabla 2 y las Fig. 3 y Fig. 4.

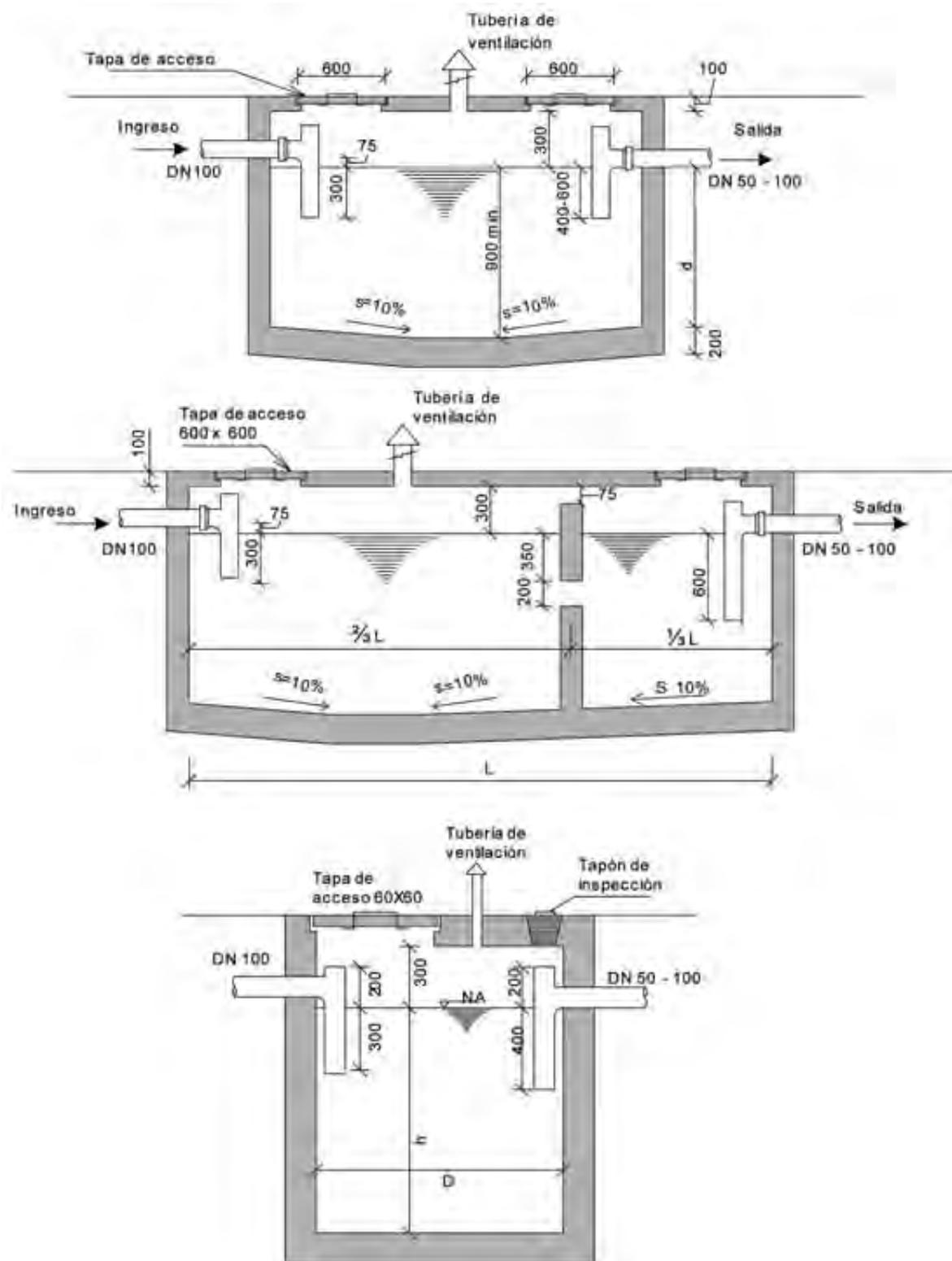


Fig. 3. Detalles constructivos. Tanques sépticos típicos

La cámara séptica puede tener una sección rectangular o circular, el más típico es la rectangular, de uno o dos compartimientos. La estructura puede ser de hormigón armado, hormigón simple o ciclópeo, ladrillo, fibra de vidrio, plástico, u otro material resistente e impermeable y protegido contra la acción corrosiva de los gases.

Dispositivos de entrada y salida

Se pueden adoptar piezas tubulares, ramales "T" alargados, tanto en la entrada como en la salida del efluente del tanque séptico. En el ingreso, la solera del ramal "T" deberá estar a una distancia mínima de 75 mm por encima de la superficie del nivel del agua, y tener un extremo sumergido en el agua con una profundidad no menor a 300 mm. En la salida, un extremo del ramal "T" deberá estar sumergido, por debajo el nivel del agua, con una profundidad no menor a 400 mm. También se puede optar por el empleo de chicanas o cortinas en reemplazo de los accesorios "T". A objeto de limitar el paso de sólidos suspendidos en el efluente de un tanque séptico, se pueden emplear tuberías perforadas de PVC con o sin filtros, ver Fig. 4. Se recomienda la instalación de deflectores de gases que protegen la calidad del efluente final.

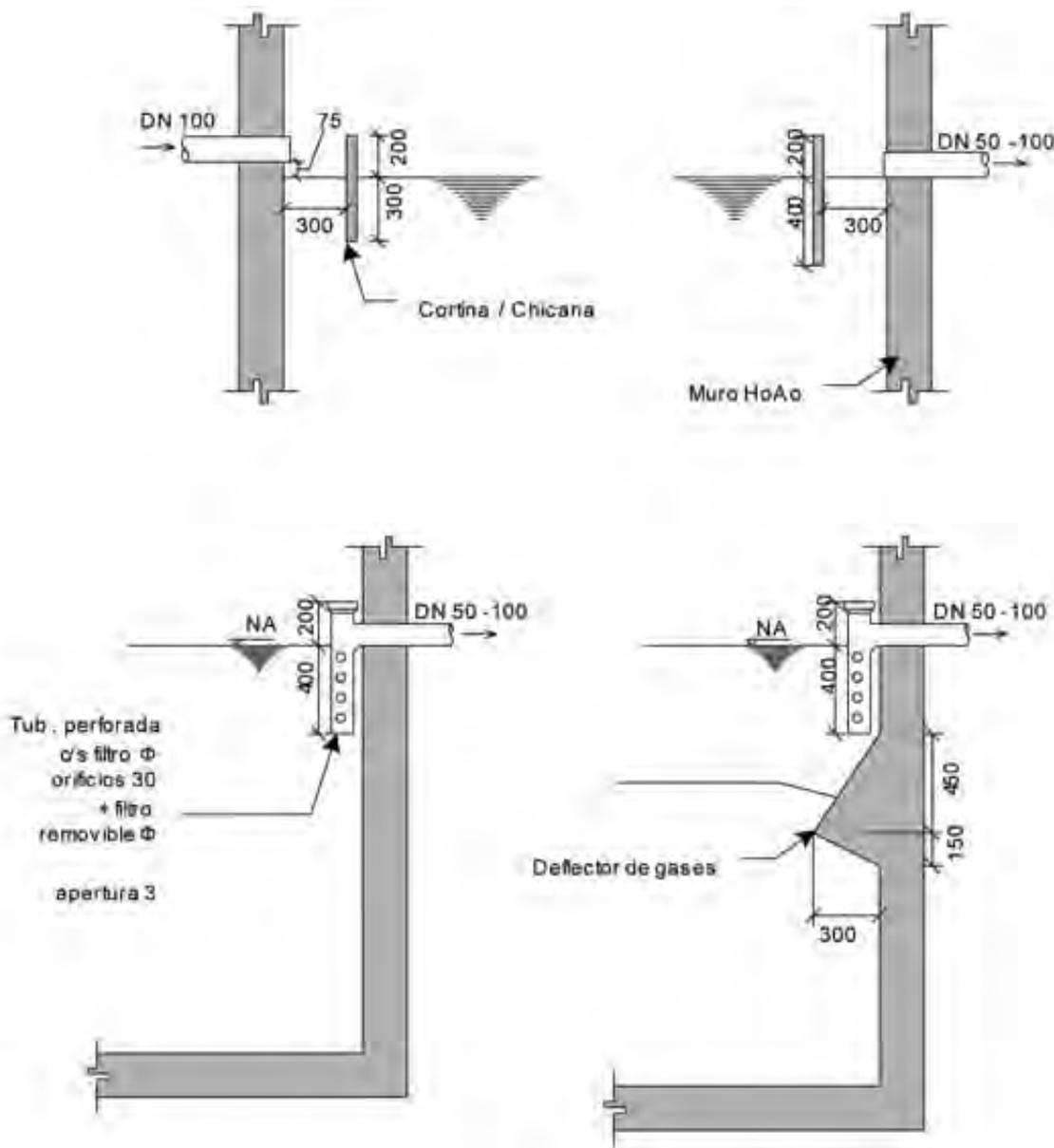


Fig.4. Detalles de ingreso/salida

Dispositivos de inspección y de ventilación

Todo tanque séptico debe contar al menos con un acceso provisto de una tapa removible que permita realizar tareas de inspección y limpieza. Este acceso deberá estar ubicado lo más próximo a la tubería de entrada. En tanques sépticos de mayor tamaño se necesitarán de dos accesos, uno a la entrada y otro a la salida. La dimensión mínima de estos accesos es de 600 x 600 mm.

Debido al proceso anaeróbico que tiene lugar en el tanque séptico, la emisión de olores indeseables y/o peligrosos es inevitable, por lo cual los tanques deben sellarse herméticamente y ser provistos de ventilación individual (DN 75-100) o liberar los gases a través de la ventilación primaria de la vivienda.

En Tanques Sépticos semicentralizados o que sirven a pequeñas comunidades, es imprescindible que los mismos tengan acceso vehicular para el retiro y traslado de los lodos hacia una disposición sanitaria.

Disposición de lodos digeridos

Los tanques sépticos precisan ser limpiados o vaciados regularmente a objeto de retirar los lodos acumulados. Algunos tanques se diseñan para una limpieza anual, mientras que otros pueden acumular lodos por dos o tres años. Para facilitar la limpieza de lodos, el fondo del tanque debe tener una pendiente que permita su acumulación y fácil bombeo. El material transportado puede ser conducido a una planta de tratamiento de aguas residuales, a un campo de secado o a una planta de tratamiento de lodos (ver ficha técnica: Tratamiento de Lodos Fecales).

Costos

Los costos de construcción de un tanque séptico dependen del tipo de material empleado y del tamaño del mismo. Para obtener un cálculo aproximado de costos se incluye la Tabla 3 de construcción de tanques de mampostería de ladrillo gambote.

Tabla 3. Tanques sépticos. Costos directos de construcción (Bs)

Componente	Capacidad (L)				
	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000
Tanque Séptico	950	1 400	1 800	2 200	2 500

Los costos directos incluyen los ítems de excavación, preparación y vaciado de tapa de hormigón armado ($f_{ck} = 200 \text{ kg/cm}^2$), impermeabilización y la provisión y colocación de accesorios. El mercado también ofrece tanques sépticos prefabricados de hormigón armado que abaratan los costos.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las principales tareas de O&M se resumen en la Tabla 4. La principal tarea de mantenimiento de un tanque séptico es la limpieza de lodos, de modo que se garantice que los mismos no pasen en el efluente y produzcan la colmatación de las zanjas o pozos de infiltración. La experiencia nacional e internacional indica que

la limpieza de lodos puede ser realizada bajo responsabilidad de la EPSA o de los usuarios a través de la contratación de servicios especializados de evacuación y disposición de lodos. Considerando la concentración de gases que tiene lugar en el tanque séptico y el contenido de organismos patógenos en los lodos, la limpieza manual no debe ser permitida, debiendo emplearse equipos de bombeo especiales a cargo de personal entrenado. En regiones donde las EPSAS son equipadas para estas tareas se tienen buenos resultados de la operación de estos sistemas. Otra alternativa de vaciado de tanques sépticos es la conformación de microempresas reguladas que presten el servicio de limpieza y descarguen los lodos en sitios permitidos por la autoridad ambiental o en una planta de tratamiento de lodos administrada por la EPSA. La limpieza de lodos debe ser realizada al menos una vez al año o cuando se verifique que los lodos alcanzaron 2/3 de la altura del nivel de agua. Se puede determinar la altura del estrato de lodos amarrando un pedazo de tela a una varilla suficientemente larga que permita llegar al fondo del tanque; al retirar la varilla quedará una marca de color negro bien determinada. Para la limpieza debe escogerse el día y hora donde se suspenda el funcionamiento de los artefactos sanitarios. Al abrir una cámara séptica se debe dejar ventilar los gases que se acumulan en él y que pueden causar daños al personal encargado de la limpieza. El operador deberá tener protección sanitaria, como guantes, mascarilla, botas etc. Los lodos deben ser succionados del tanque séptico a un carro cisterna, empleando una bomba mecanizada, para su transporte a un sitio de tratamiento o de disposición final autorizado (ver ficha técnica de Tratamiento de Lodos Fecales).

Tabla 4. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Verificación de la impermeabilidad de las instalaciones	Inspección visual de filtraciones, asentamientos, fisuras.
Medición de lodos	Controlar el nivel de lodos almacenados en el tanque séptico, una a dos veces/año.
Retiro de material flotante	Retirar el material sólido flotante en la zona de espumas, una a dos veces/año.
Limpieza de lodos digeridos	Vaciado anual del tanque (lodos, espumas) y limpieza (filtros).
Identificación de malos olores	Revisión del sistema de ventilación. Asegurar la ventilación de sistema.
Limpieza del desgrasador de la cocina.	Retiro de los sólidos y disposición sanitaria, a través de la empresa de aseo y/o secado de los mismos.
Inspección del campo de infiltración, verificando zonas de inundación o mal funcionamiento del drenaje.	Verificación de los drenes, limpieza o cambio de material, colmatación del material grueso, cambio de filtros.

La experiencia en Bolivia y muchos países indica que la limpieza y retiro de lodos a nivel familiar presenta problemas en cuanto a su ejecución, la cual no se realiza o se la hace en forma irregular, creando problemas de contaminación ambiental e impactos negativos en la salud pública. En la EPSA de pequeñas localidades que cuentan con tanques sépticos, debido a la carencia de equipamiento y de personal entrenado y encargado de inspeccionar las instalaciones, el sistema es abandonado. Otro aspecto que se observa es la ausencia de una política de gestión

de lodos fecales que permita considerar su tratamiento y/o disposición final sin afectar la salud pública ni generar impactos negativos al medio ambiente.

Otra tarea no menos importante en la operación y mantenimiento de tanques sépticos es el de limitar la descarga de productos químicos en las aguas residuales domiciliarias o restringir el uso exagerado de solventes de grasas, detergentes, que inhiben la actividad microbiológica de estas unidades.

RESUMEN DE RIESGOS

La Tabla 5 nos muestra un resumen de los principales riesgos asociados a los sistemas de tratamiento que cuentan con tanques sépticos.

Tabla 5. Tabla de riesgos

Evento	Peligro Asociado	Causa	Medidas Preventivas
Descarga directa de aguas residuales al medio ambiente (suelo, cuerpos de agua) sin tratamiento secundario.	Contaminación microbiológica y fisicoquímica de cuerpos de agua, suelo, acuíferos (nitritos, nitratos).	Carencia de un tratamiento secundario de tratamiento de aguas residuales.	Diseño de un tratamiento secundario, humedales, filtros anaerobios, desinfección ultravioleta, campos de infiltración, etc. Mantener distancias respecto a fuentes de agua (pozos).
Reuso directo de efluentes en la agricultura.	Contaminación microbiológica de cultivos.	Reuso de efluentes sin tratamiento secundario.	Diseño del tratamiento secundario en función a tipo de cultivo aplicado.
Presencia de gases dañinos y malos olores.	Contaminación del aire, rechazo de la comunidad.	Carencia de operación y mantenimiento adecuados, ausencia de ventilación.	Instalación de tubería de ventilación, conexión al sistema de ventilación primaria de la vivienda.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas	Desventajas
<p>Solución apropiada donde se pueda tener las condiciones del suelo para la disposición del efluente (lechos de infiltración, pozos de absorción).</p> <p>Es una tecnología simple que no requiere de partes o equipos mecanizados ni componentes eléctricos. Para viviendas familiares requiere de un espacio reducido a un costo razonable.</p> <p>Para su operación y mantenimiento no requiere de personal especializado y puede trabajar durante muchos meses o años sin necesidad de medidas especiales.</p> <p>No presenta problemas de olores si es diseñado y usado correctamente. Produce un efluente donde se han removido la mayor parte de los sólidos en suspensión/ sedimentables así como las sustancias flotantes, asegurando el mejor comportamiento y eficiencia de las unidades posteriores de tratamiento y/o disposición final.</p> <p>Involucra a la comunidad en la operación y mantenimiento.</p> <p>Puede ser empleado en combinación con otros sistemas descentralizados de recolección y tratamiento de aguas residuales, reduciendo los costos de inversión en redes y tratamiento.</p>	<p>Si las cámaras sépticas son empleadas en áreas densamente pobladas, la infiltración en el terreno no es la más adecuada, pueden generar problemas de sobresaturación, rebalse de aguas negras, y la contaminación de acuíferos.</p> <p>Por su contenido de contaminantes patógenos, materia orgánica y nitratos, requiere de un tratamiento posterior.</p> <p>Requiere de un servicio regulado para la recolección, tratamiento y disposición final de lodos sépticos.</p> <p>Su ubicación exige espacio suficiente y accesible para la extracción de lodos con equipo mecanizado.</p>

Referencias:

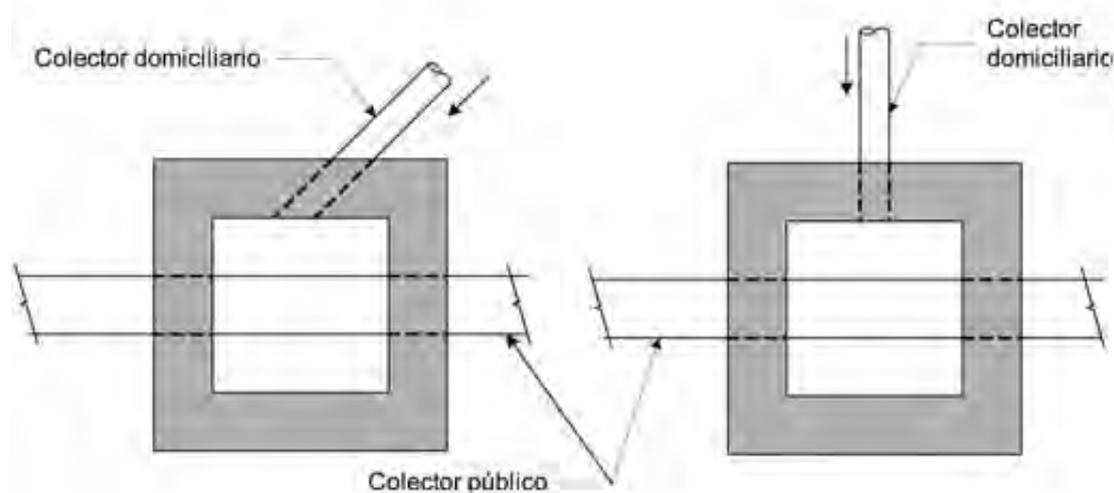
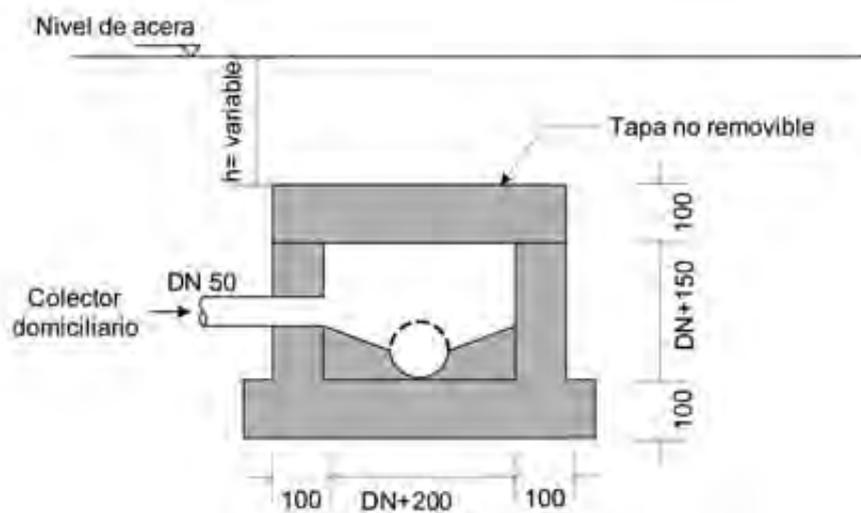
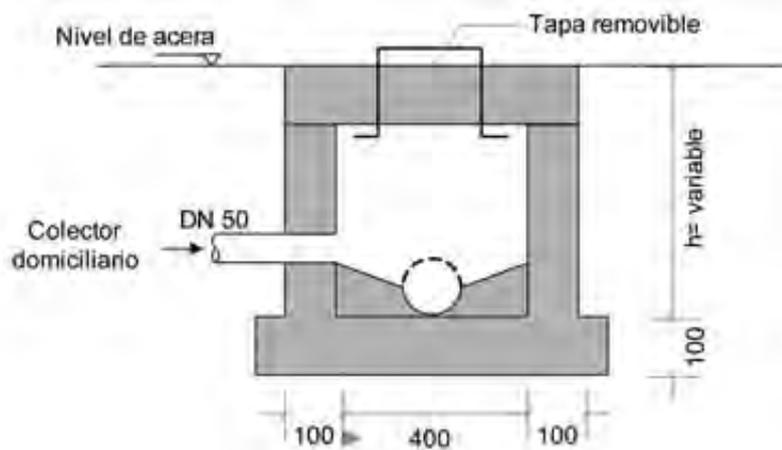
EPA, Code of Practice. Wastewater Treatment for Single Homes, 2007

Tilley, Elizabeth et al, 2008. Compendium of Sanitation Systems and Technologies. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland.

Crites – Tchobanoglous. Small and Decentralized Wastewater Management Systems. Mc Graw Hill 1998

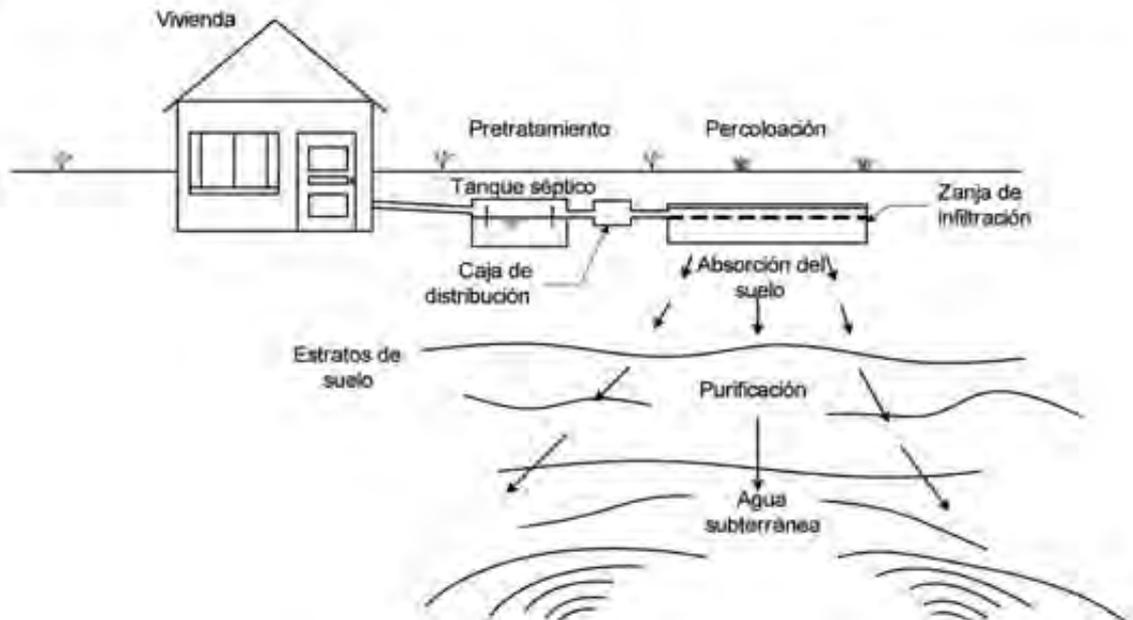
Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS



Detalles. Caja de paso.

Z.2		Infiltración de aguas residuales		Aplicable a: sistema 7,8,9	Z.2
Nivel de empleo		Nivel de administración		Entrada producto:	Aguas negras / grises
+++ Rural disperso		+++ Familia		Salida del producto:	Agua residual parcialmente tratada
+++ Rural concentrado		CAPYS			
+++ Peri-urbano		EPSA			
Aplicable a zona:					
+++ Altiplano		+++ Valles		+++ Llanos	



Fuente: Bouma, 1975

Fig.1. Sistemas de infiltración de aguas residuales

DESCRIPCIÓN

Los sistemas de infiltración son una tecnología de tratamiento consistente en zanjas o pozos a través de los cuales los efluentes provenientes de tanques sépticos son percolados en el subsuelo, proveyendo a los mismos de un tratamiento secundario. El sistema de infiltración está compuesto i) lechos de infiltración ii) pozos de infiltración, ver Fig. 1.

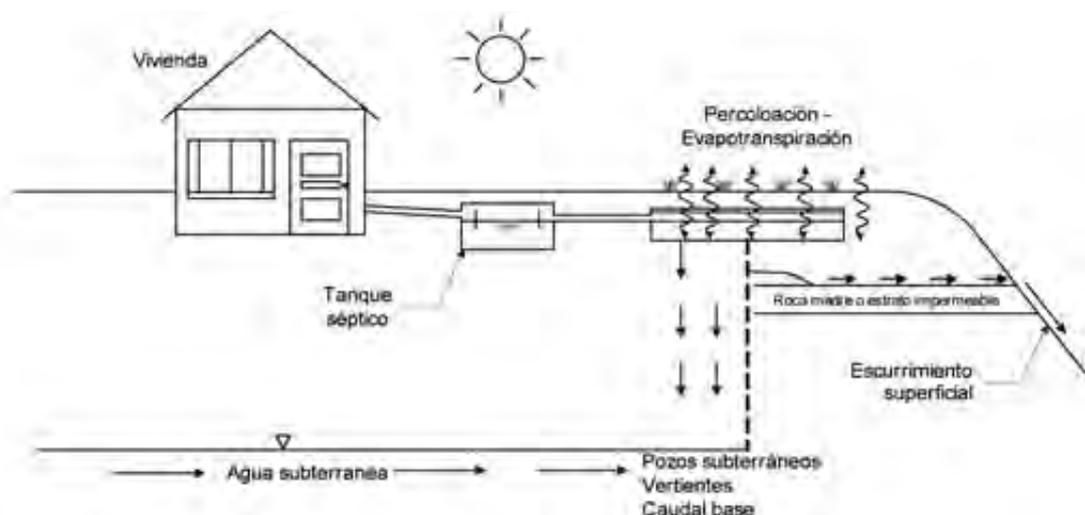
Los sistemas de infiltración son un complemento para la evacuación y tratamiento del efluente de los tanques sépticos domiciliarios (efluentes sépticos). Los tanques sépticos cumplen la función de tratamiento primario, removiendo la mayor parte de los sólidos suspendidos y sedimentables así como parte de la materia orgánica presente y de coliformes fecales. No obstante, el efluente aún contiene elevadas concentraciones de patógenos y nutrientes, requiriendo de un tratamiento secundario que es provisto por el sistema de infiltración.

Los sistemas de infiltración funcionan apropiadamente cuando las condiciones de permeabilidad y características del subsuelo permiten la percolación de los efluentes sépticos. Estas aguas son distribuidas uniformemente en el subsuelo, el cuál funciona como un biofiltro, donde están sujetas a fenómenos de filtración, cernido, interacción físico – química y descomposición microbiológica.

La corteza superior del suelo (zona de aireación) es el receptáculo de microorganismos aerobios que se extienden en toda su superficie, conteniendo materia orgánica, minerales, agua, y otros organismos vegetativos. A través del ciclo de vida, estos organismos tienen la facultad de reducción de la materia orgánica compleja en simples compuestos. Los efluentes de los tanques sépticos introducen al subsuelo materia orgánica en solución, en estado coloidal y disuelto, cuando se descargan en la zona más próxima al estrato superior, siendo sujetos a la acción de microorganismos aerobios. Este proceso es posible siempre que la descarga de las aguas residuales en el área de infiltración no se realice a una tasa elevada, o en forma instantánea y en grandes volúmenes, de manera que puedan causar la saturación del suelo y del área de aireación. Un suelo saturado destruye los organismos aerobios, generando condiciones anaerobias de descomposición y retrasando el proceso de mineralización de la materia orgánica, incrementando de este modo la colmatación de la interface suelo – líquido.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los sistemas de tratamiento consistentes en un tanque séptico y zanjas o pozos de infiltración, funcionan bien en áreas con una apropiada capacidad hidráulica e infiltración del suelo. Son diseñados para tratar los efluentes de tanques sépticos a objeto de cumplir con los estándares de calidad para proteger la salud pública y minimizar los impactos ambientales. Estas condiciones no siempre se cumplen, particularmente en zonas de alta densidad poblacional donde la proliferación de pozos o zanjas de infiltración excede la capacidad de absorción y retención del suelo. Los sistemas de infiltración que son ubicados próximos a los acuíferos subterráneos o cursos superficiales pueden generar la contaminación de los mismos por nitratos, fósforo y organismos patógenos. Lo nitratos que se filtran en aguas subterráneas que son fuentes de agua potable, pueden causar la enfermedad de la metahemoglobinemia en lactantes y otros problemas de salud en mujeres embarazadas; por otra parte, su descarga en aguas superficiales aumenta los riesgos de eutroficación y el abatimiento del oxígeno disuelto en las mismas. La Fig. 2, nos muestra las potenciales vías de flujo de las aguas residuales de un tanque séptico que pueden alcanzar las aguas subterráneas y/o superficiales.



Fuente: Venhuizen, 1995

Fig. 2. Flujo de aguas residuales en sistemas de tratamiento de tanques sépticos e infiltración en suelos.

Cuando no es posible la implementación de un sistema de recolección de aguas residuales y siempre que las condiciones del suelo y lugar sean favorables, la selección de un sistema de tanque séptico e infiltración en el suelo es una opción tecnológica a considerar. Esta selección se la hace considerando los siguientes factores:

- Proteger la salud pública
- No generar impactos negativos en el medio ambiente, protegiendo las aguas subterráneas y/o superficiales.
- Condiciones de fácil operación y mantenimiento.
- Economía
- Condiciones de suelo que permitan tener una velocidad de filtración aceptable, sin interferencias de aguas freáticas o de estratos impermeables.
- Condiciones estacionales del nivel freático (época de lluvias y estiaje), durante la época de lluvias, del nivel freático debe estar al menos 1.20 m por debajo el fondo de la zanja o pozo de absorción, ver Fig. 3.

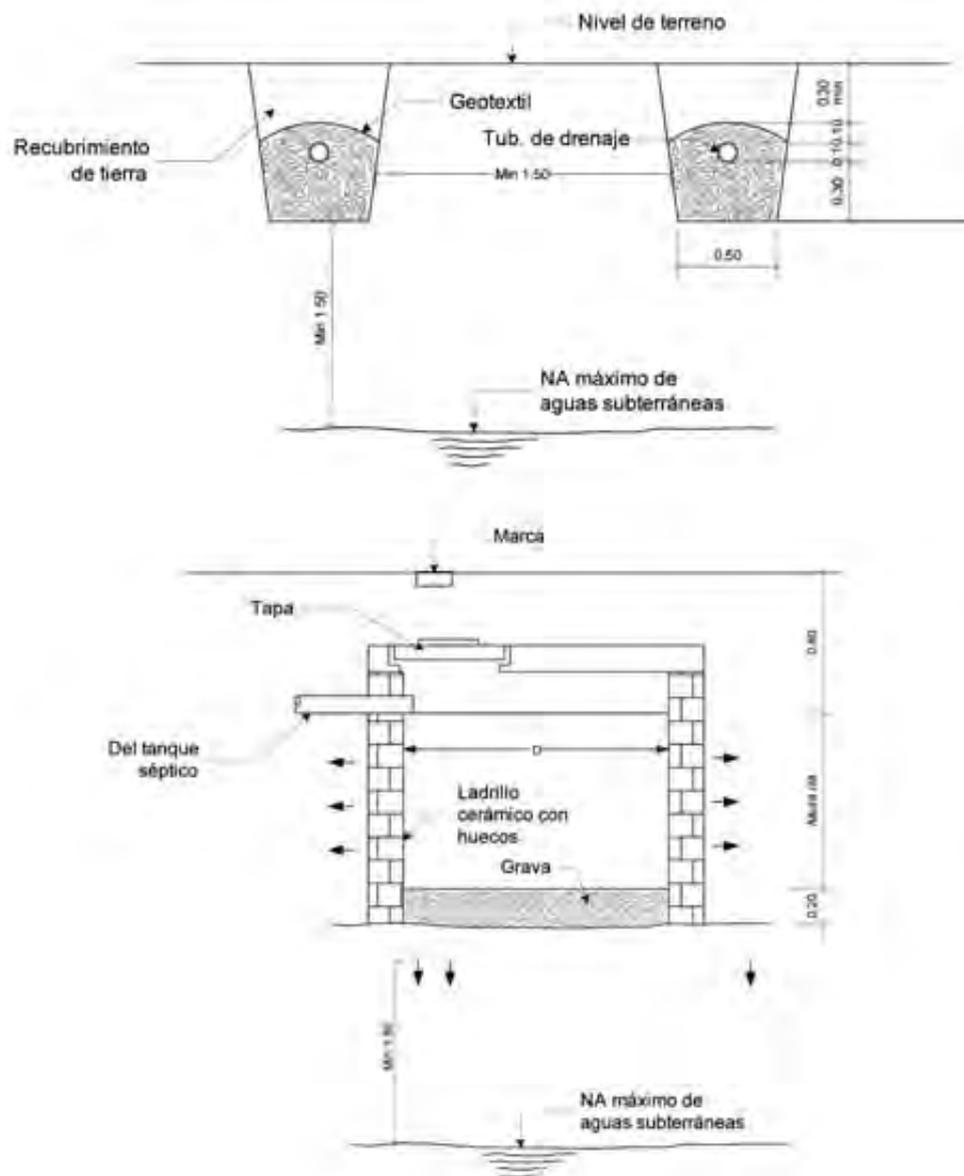


Fig. 3. Sistemas de infiltración

La selección final de un sistema de infiltración deberá tomar en cuenta las restricciones del lugar de emplazamiento y estudios de campo a ser realizados in situ. La Tabla 1 incluye los principales criterios de selección para la implementación de un sistema de infiltración de aguas residuales.

Tabla 1. Criterios de selección sistemas de infiltración de aguas residuales

Factor	Significado
Restricciones del lugar de emplazamiento	Normativa de uso de suelos, normativa urbanística, protección de fuentes de agua subterráneas. Gestión de la microcuenca. Identificación de zonas de riesgo por fenómenos sicionaturales (inundaciones, áreas de falla, deslizamiento, etc.).
Sistema de recolección de lodos sépticos	Retiro regular de los lodos almacenados en el tanque séptico de manera que se permita limitar el riesgo de colmatación del campo de infiltración por el paso de sólidos sedimentables.
Nivel freático en zanjas, pozos y cursos superficiales	Se requiere una profundidad mínima de 1.2 -1.5 m con relación a la solera de las zanjas o pozos de infiltración considerando la estación lluviosa. Determinan la profundidad del suelo no saturado para la disposición de lechos o pozos de infiltración. Determina las facilidades de construcción del sistema de tratamiento.
Presencia de cursos superficiales de agua, humedales.	Determinan la baja permeabilidad del subsuelo o niveles freáticos elevados.
Drenaje pluvial	Bajo ninguna circunstancia se debe permitir que las aguas pluviales superficiales sean descargadas en los sistemas de infiltración. El sistema de drenaje pluvial de la vivienda debe ser independiente y en lo posible seguir la pendiente natural del terreno.
Dirección de la pendiente del sitio o lugar de emplazamiento.	Capacidad de infiltración del suelo, drenaje de aguas pluviales, tasa de percolación.
Presencia o aparición de la roca madre	Insuficiente profundidad del subsuelo para tratar los efluentes, permitiendo su rápido contacto con las aguas subterráneas.
Proximidad de otras áreas de percolación existentes, densidad de viviendas en el área de influencia,	Puede ser un indicador de elevadas cargas de nutrientes en la zona o localidad y/o problemas de malos olores.
Tipo de suelo y tipo de cobertura vegetal existente	Indicador de la tasa de percolación del suelo y profundidad de las aguas subterráneas, resultados del ensayo de percolación que determinan la permeabilidad del lugar de emplazamiento.
Proximidad de pozos subterráneos en proximidades del lugar de emplazamiento, fuentes de agua potable, ríos, manantiales, vertientes, humedales naturales, etc.	Indicar de objetivos de riesgo y de impacto ambiental en los recursos hídricos. Análisis de riesgos asociados a la contaminación de aguas subterráneas, superficiales y su impacto en el ecosistema.

CRITERIOS DE DISEÑO

Los sistemas de infiltración de aguas residuales son una tecnología de tratamiento de efluentes sépticos, efectiva y de bajo costo, basada en la capacidad de asimilación de los suelos que pueden transformar y reciclar la mayor parte de la contaminación generada por la evacuación de aguas residuales en viviendas y centros comerciales. Son el sistema de tratamiento más aconsejado en zonas rurales y áreas periurbanas dispersas. En zonas donde no es permitido el lanzamiento directo de aguas residuales en cursos superficiales, los sistemas de infiltración ofrecen una alternativa de tratamiento secundario. Los más empleados consisten en zanjas y pozos de infiltración. Las zanjas de infiltración (ZI), tienen relaciones largo – ancho bastante grandes (mayor a 30), mientras que los pozos de infiltración (PI) son de sección circular y de profundidad variable. Los PI tienen como área útil de infiltración a su superficie lateral por lo cual pueden alcanzar a tener profundidades bastantes grandes. En comparación con las zanjas de infiltración los PI, debido a su pequeña superficie horizontal, pueden generar potenciales focos localizados de contaminación que pueden contaminar las aguas subterráneas; por este motivo no se aconseja su aplicación en zonas donde el nivel freático es poco profundo o en zonas próximas a fuentes de agua de origen subterráneo.

Las características y propiedades del suelo, tamaño del lote y la proximidad o presencia de acuíferos subterráneos, pueden limitar el uso de los sistemas de infiltración. La Tabla 2, nos muestra las características que se debieran tomar en cuenta para su aplicación.

Eficiencia en remoción de contaminantes

Resultados de numerosos estudios han mostrado que los sistemas de infiltración logran remover la mayor parte de los contaminantes presentes en las aguas residuales provenientes de tanques sépticos (aguas efluentes de tratamiento primario). Con excepción del nitrógeno, la mayor parte de los contaminantes como la DBO, sólidos suspendidos, microorganismos patógenos y surfactantes son efectivamente removidos en el estrato de suelo no saturado, en la interface de la zona de aireación del suelo y subsuelo, dentro de los 0.60 – 1.5 m de profundidad. Los compuestos de fósforo y otros metales son removidos a través de fenómenos físico – químicos y reacciones de precipitación.

Tabla 2. Características típicas de aplicación de los sistemas de infiltración

Factor	Aplicación	Restricciones
Calidad de las aguas residuales	Aguas residuales de origen doméstico y/o comercial	Instalaciones industriales o aguas residuales que no sean de origen sanitario.
Caudal diario	< a 20 personas equivalentes a menos que se cuente con una EPSA responsable de su manejo.	> 20 personas equivalentes sin una EPSA responsable ni un programa de gestión.
Pretratamiento mínimo	Tanque séptico, tanque Imhoff.	Descarga directa de aguas residuales en los SITS

Características del suelo	La carga hidráulica aplicada no debe superar la capacidad de asimilación del suelo	Cualquier suelo donde la descarga de aguas residuales pretratadas no exceda la capacidad de infiltración del mismo.
Topografía	Plana, levemente ondulada con pendiente $\leq 20\%$	Terrenos con elevadas pendientes $> 30\%$
Tipo de suelo	Arenas y arcillas limosas	Arenas muy finas, arcillas puras, arcillas expandibles
Estructura del suelo	Granular, bloques	Suelos masivos, estructura prismática
Distancia horizontal con respecto a : Pozos de abastecimiento de agua potable. Aguas superficiales, vertientes Límites de propiedad Fundaciones en edificios	15 – 30 m 15 - 30 m 1.5 - 3 m 3-6 m	Considerar la densidad de población y de instalaciones de sistemas de infiltración que pueden saturar la capacidad de asimilación y tratamiento de aguas residuales.
Drenaje de aguas pluviales	Terrenos con moderado o buen drenaje natural	Terrenos poco o pobremente drenados.
Profundidad de las aguas subterráneas o roca madre	> 1.50 m	< 1.2 m

Fuente: Adaptado EPA 2002

Sin embargo de las propiedades anteriores la capacidad de retención y tratamiento del suelo es finita y varía con la mineralogía, contenido de materia orgánica, pH, intercambio catiónico, etc. Estudios de campo sugieren que el suelo es bastante eficiente en la remoción de virus, pero algunos tipos pueden llegar a contaminar las aguas subterráneas. Suelos finos, bajas cargas hidráulicas, subsuelos aeróbicos, y elevadas temperaturas favorecen la destrucción de virus y organismos patógenos. El componente químico que representa la mayor amenaza a la calidad de las aguas subterráneas y que pueden percolarse a través de los sistemas de infiltración, son los nitratos (altamente solubles en el agua) contenidos en los efluentes de los sistemas de infiltración. Otro contaminante que fácilmente puede alcanzar a tener contacto con las aguas subterráneas son los cloruros, de alta solubilidad en el agua y que no son reactivos con el suelo. Por las anteriores consideraciones los sistemas de infiltración deben ser instalados fuera del área de protección de los pozos de extracción de aguas subterráneas que son fuente de captación de agua para consumo humano.

Diseño

El diseño de los sistemas de infiltración debe incorporar los siguientes criterios a objeto de garantizar un buen funcionamiento y un periodo de vida útil prolongado.

- Instalación de las zanjas de infiltración a bajas profundidades, en lo posible menor a 0.60 – 1.0 m
- Orientar de las zanjas de infiltración paralelas a las curvas de nivel.
- Ancho máximo de las zanjas menor a 1.5 m.

- Aplicación uniforme de los caudales de aguas residuales sobre la superficie de infiltración.
- Considerar múltiples celdas y capacidad de reserva así como suficiente espacio para futuras reparaciones o reemplazo de zanjas.
- Distancia mínima del fondo de la zanja o pozo de infiltración, respecto al perfil hidráulico de las aguas subterráneas, mayor a 1.5 m.

Tamaño de los sistemas de infiltración

El área mínima de infiltración es función del máximo volumen diario de aguas residuales y la máxima capacidad de infiltración diaria del suelo. El área corresponde tanto a la superficie del fondo de las zanjas de infiltración como a las paredes laterales. En los pozos de infiltración el área lateral es el mayor componente activo de infiltración con relación a la superficie horizontal del fondo.

Caudal de diseño

Es necesaria una estimación lo más precisa del caudal de diseño para la determinación de la superficie de infiltración. Para viviendas nuevas se pueden emplear consumos típicos de zonas o áreas similares. Se debe tomar en cuenta los picos de consumo máximos y mínimos que se producen en especial en las instalaciones de tipo comercial.

Carga hidráulica basada en ensayos de percolación

Corrientemente, la selección del sistema de infiltración se basa en los resultados de los siguientes análisis: i) ensayos de percolación, ii) análisis in situ y clasificación de suelos.

La tasa de percolación del suelo es función de i) la formación y acumulación de la capa biológica (biomasa) en la superficie de filtración ii) la permeabilidad del suelo. El ensayo de percolación consiste en la perforación de 6 o mas pozos u hoyos de 100 – 300 mm de diámetro distribuidos en la zona o área de instalación del sistema de infiltración (ver Fig.4). La profundidad de los pozos debe coincidir con la profundidad de las zanjas o pozos de infiltración que se prevén construir. Previo al ensayo de percolación se deben mantener los hoyos llenos de agua por al menos 4 hrs o preferentemente toda la noche. La tasa de percolación se determina i) vertiendo agua en el hoyo hasta una altura de 15 cm sobre un lecho de grava de 0.15 m y midiendo el tiempo requerido del nivel de agua para descender un distancia especificada (min/pulg, min / 100 mm) o ii) midiendo el descenso del nivel del agua en un determinado periodo de tiempo. Con base a este ensayo la carga hidráulica superficial se obtiene de una tabla o curva que relaciona la tasa de percolación con la carga superficial permitida ($m^3/m^2.d$ o $L/m^2.d$). Estos ensayos, que son realizados con agua limpia, no están relacionados con el tipo de efluente a tratar, descargas de origen séptico, que por su origen forman una biomasa que limita en el transcurso del tiempo la capacidad de absorción del suelo. En la ficha técnica de **Baño con arrastre de agua e infiltración** se muestra un gráfico que permite determinar la carga hidráulica superficial con base al ensayo de percolación.

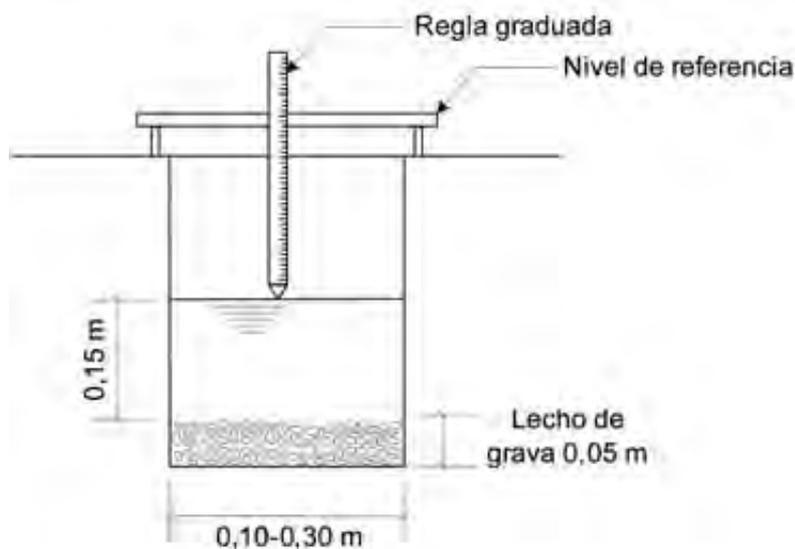


Fig. 4. Pozo de observación. Ensayo de percolación

Cargas hidráulicas recomendadas basadas en características del suelo

Tomando en cuenta las características, pruebas y ensayos in situ de suelos, se presenta la Tabla 3 que ha sido elaborada considerando las condiciones más desfavorables de mantenimiento y funcionamiento de zanjas de infiltración.

Tabla 3. Carga hidráulica recomendada basada en la capacidad de infiltración lateral del suelo

Clasificación del suelo y tipo de sistema de infiltración.	Carga hidráulica (L/m ² .d)	Observación
Para suelos no clasificados como limo arcillosos. Sistemas de infiltración por gravedad.	8	Valores típicos de tasas de percolación menores a 60 min/pulgada
Para suelos clasificados como limo arcillosos. Sistemas de infiltración por gravedad.	6	Valores típicos de tasas de percolación mayores a 60 min/pulgada. Requieren que las zanjas de infiltración sean divididas en dos para su trabajo en forma rotativa durante 6 meses. Es necesaria la rotación de las zanjas en suelos arcillosos para la recuperación de su capacidad de percolación.

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy

Los suelos constituidos solamente por estratos de arcillas de tipo expansivo, no son aptos para la aplicación de sistemas de infiltración.

Ejemplo de cálculo:

1) Se tiene una vivienda con tres dormitorios ubicada en una zona periurbana que cuenta con acceso al servicio público de agua potable. El área periurbana carece de un sistema de alcantarillado sanitario. Se prevé una máxima ocupación de la vivienda de seis personas. Los ensayos de percolación muestran un resultado de 35 min / pulg (126 min/100 mm). La clasificación de suelos corresponde al tipo limoso. La profundidad del nivel freático se ha determinado que se encuentra a 2.5 m durante la época lluviosa. La dotación diaria estimada es de 80 L/p.d. Se adoptan zanjas de infiltración de 0.30 m de ancho por una profundidad de 1.0 m. La distancia de la tubería de drenaje respecto al fondo de la zanja es de 0.60 m.

a) Estimando la caudal promedio diario

$$Q_{\text{diario}} = 80 \frac{\text{L}}{\text{p.d}} \times \frac{5p}{\text{viv}} = 400 \frac{\text{L}}{\text{d}}$$

b) De la Tabla 3, se adopta el valor de $8.0 \frac{\text{L}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$ como carga hidráulica superficial que puede asimilar un suelo de tipo limoso.

Capacidad de percolación de la zanja = $2.0 \times (0.60 \text{ m}^2 / \text{m} \times 8.0 \text{ L/m}^2) = 9.6 \text{ L} / \text{m}$ de zanja.

Longitud de zanja requerida = $\frac{400 \text{ L/d}}{9.6 \text{ L/m}} = 41.67 \text{ m}$ de zanja de drenaje

Considerando que el lote tiene una superficie de 20 x 20 m, disponemos de 3 zanjas de 14 m de largo, con una sección de 0.30 x 1.0 m.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

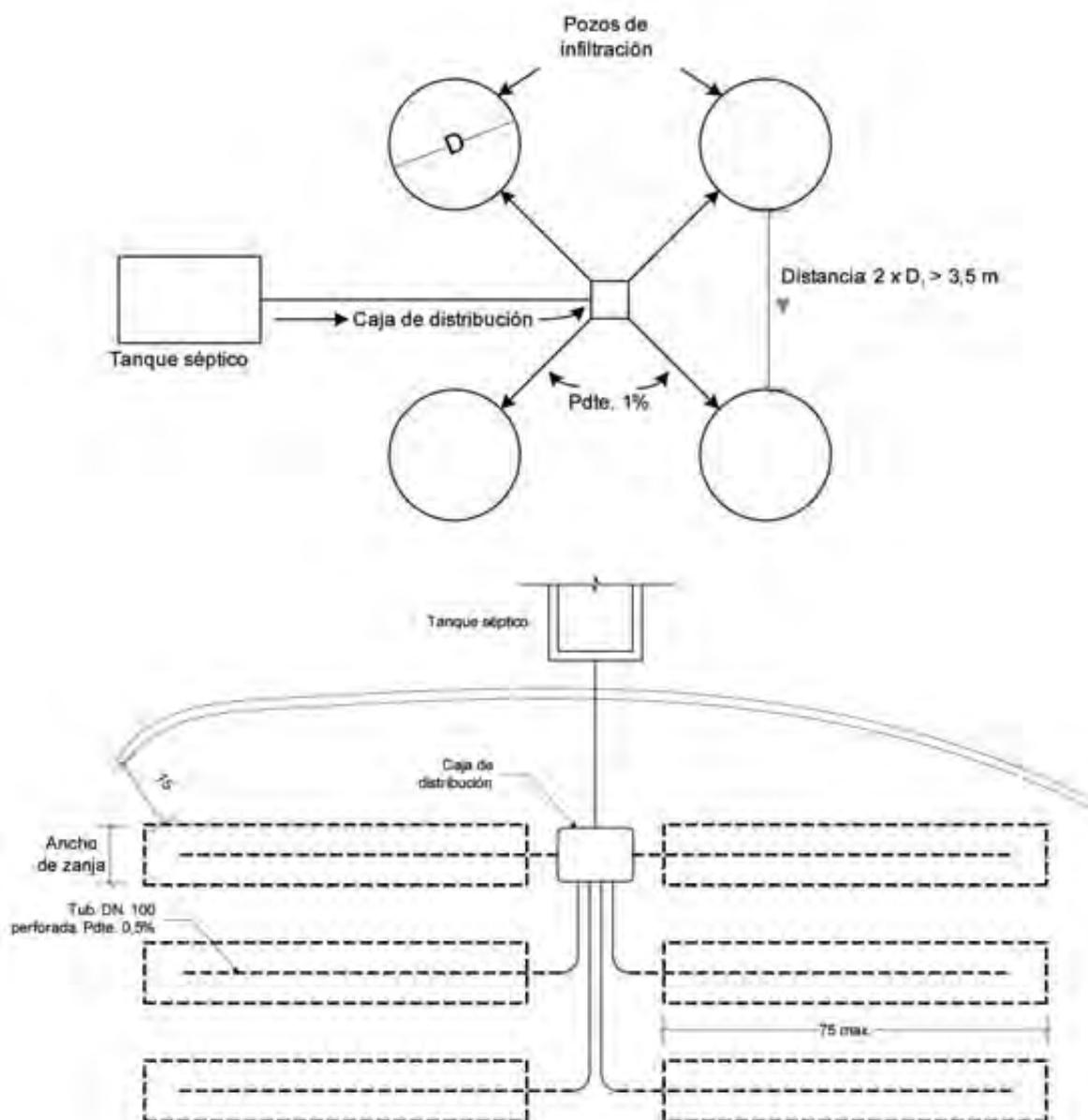
Geometría y configuración

El ancho y la longitud de la superficie de infiltración son importantes parámetros de diseño de las zanjas de infiltración. Los pozos de infiltración pueden ser efectivos en la dispersión de las aguas residuales, sin embargo proveen un mínimo tratamiento a las mismas. Debido a su profundidad (mayor a 0.60 – 1.0 m), existe poca transferencia de oxígeno y se sitúa más próxima al nivel freático de las aguas subterráneas. Los pozos de infiltración se pueden emplear en zonas áridas donde no existe riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

El ancho de las zanjas de infiltración no debe superar el rango de 0.30 – 1.20 m a objeto de facilitar el transporte de oxígeno y facilitar el tratamiento de las aguas residuales. La longitud de las zanjas esta limitada por la disponibilidad de terreno y por el flujo y profundidad de las aguas subterráneas. Longitudes largas son permitidas a objeto de dispersar la carga orgánica influyente. La altura de la zanja no debe superar los 0.60 – 1.0 de profundidad.

El sistema de infiltración puede estar situado por debajo del nivel del terreno (mediante zanjas de infiltración) o por encima del terreno cuando las condiciones del suelo no sean favorables (en cuyo caso se deberá emplear un sistema de bombeo), ver Fig.5 La profundidad final de las zanjas de infiltración no debe superar los 0.90 – 1.2 m a objeto de permitir la reaireación del suelo y satisfacer la demanda

de oxígeno. La máxima capacidad de transporte de oxígeno hacia la zona de infiltración ocurre cuando las zanjas de infiltración son estrechas y poco profundas. La distancia vertical entre la cota inferior de la zona de infiltración y el perfil hidráulico de las aguas subterráneas (durante la época de lluvias) no debe ser inferior a 1.5 m que se considera adecuada para remover la mayor parte de la contaminación microbiológica. Sin embargo, cuando se descarga efluentes con elevadas cargas orgánicas durante periodos extensos (picos de caudal) la eficiencia del tratamiento puede ser perdida. Reducir los picos de descarga y garantizar una distribución uniforme de caudales en el sistema de infiltración ayuda a mantener bajos niveles de humedad del suelo, manteniendo las condiciones aeróbicas de tratamiento. La separación entre zanjas esta limitada por las características del suelo y el método de construcción, evitando afectar la estabilidad de las mismas.



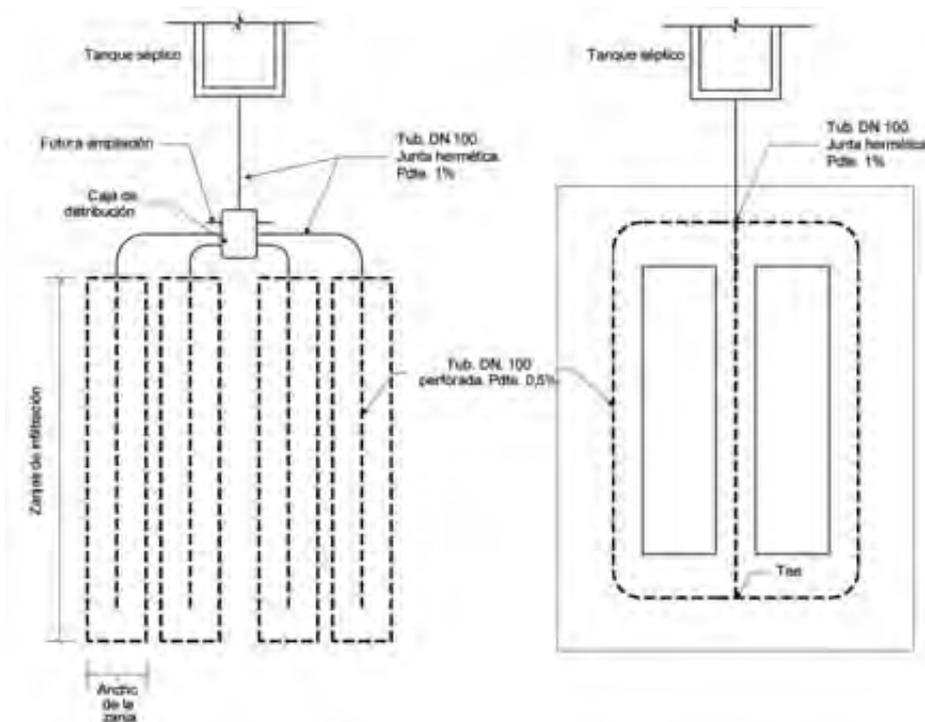


Fig. 5. Configuración de sistemas de infiltración

Distribución del agua residual en la superficie de infiltración

Se debe buscar una distribución uniforme del agua influyente en las zanjas de infiltración, los sistemas por gravedad son los sistemas más comúnmente empleados descargando el agua residual proveniente del tanque séptico durante todo el día. Este sistema es factible allá donde se cuenta con suficiente gradiente hidráulico que permita el flujo por gravedad. El sistema de distribución consta de tuberías de plástico perforadas de DN 100, generalmente de PVC o polietileno (PE). Una o dos filas de orificios son perforados, separados 0.30 m, a lo largo de la tubería de drenaje. La tubería es instalada horizontal en el lecho de grava con los orificios dirigidos hacia abajo. Una caja de distribución es empleada para dividir los caudales entre las diferentes líneas de distribución, ver Fig.6

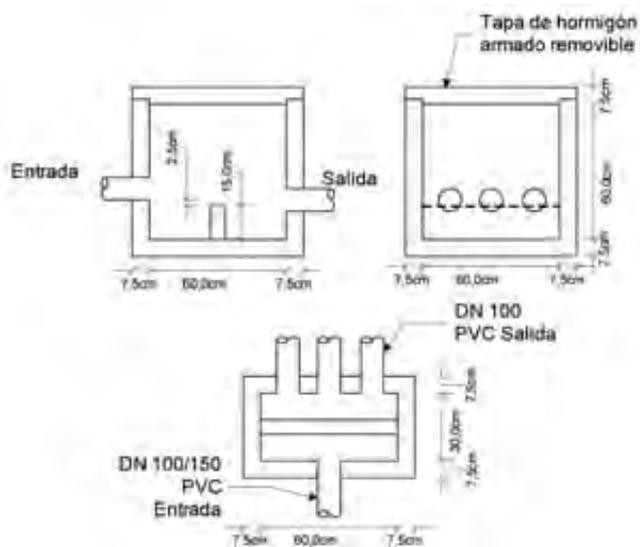


Fig. 6. Cámara de distribución de caudales

Medio poroso

Un medio poroso rodea la tubería de distribución de agua residual. Este material grueso mejora la estabilidad de las paredes laterales, provee de un almacenamiento de reserva contra los picos de caudal, minimiza la erosión de la superficie de infiltración y provee protección a las tuberías contra el congelamiento y penetración de raíces. Tradicionalmente se emplea grava limpia o piedra triturada de ¾" - 2 1/2" de diámetro. El material poroso debe ser durable, resistente a la disolución y libre de partículas finas. Se recomienda una dureza en la escala de Moh de al menos 3. El material grueso deber cubrir al menos 0.15 m por encima de la clave superior de la tubería de distribución.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los sistemas de infiltración requieren pocas tareas de operación y mantenimiento. El funcionamiento eficiente del sistema depende esencialmente del funcionamiento del tanque séptico. Las principales tareas están relacionadas con la operación y mantenimiento de los tanques sépticos (ver la ficha técnica correspondiente). En instalaciones más grandes, centros comerciales, educativos y similares, se requiere de un programa regular de mantenimiento, monitoreo y control. En viviendas familiares es importante el involucramiento de la población usuaria en las tareas rutinarias de operación y mantenimiento, para lo cual se deben implementar programas de educación sanitaria y asistencia técnica. La Tabla 4 muestra las principales tareas de O&M para el funcionamiento eficiente de estos sistemas.

Tabla 4. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Medición de nivel de agua	Control del nivel de agua en la cámara de distribución de caudales. Es un indicador de anegamiento o mal funcionamiento del sistema. Dependiendo del tamaño del sistema este control se lo puede realizar mensualmente en los sistemas pequeños hasta un control diario en los sistemas grandes.
Control de zonas o áreas de anegamiento	Observación visual de superficies de anegamiento en el área de infiltración, puede ser causada por la colmatación de la zona de percolación o por la descarga de picos de caudal superiores a la capacidad de absorción del suelo. Reducir el consumo excesivo de agua.
Detección de malos olores	Control del funcionamiento del sistema de infiltración, condiciones aerobias o anaeróbicas. Inspección del área de infiltración por probables anegamientos. Revisión del sistema de ventilación.
Limpieza de lodos del tanque séptico.	Vaciado anual del tanque de los lodos, espumas y grasas a objeto de evitar el transporte de los mismos al sistemas de infiltración.
Identificación de malos olores	Revisión del sistema de ventilación. Asegurar la ventilación de sistema.
Inspección del campo de infiltración, verificando zonas de inundación o mal funcionamiento del drenaje.	Verificación de lo drenes, limpieza o cambio de material, colmatación del material grueso, cambio de filtros.

En establecimientos grandes (centros comerciales, educativos, etc.) que requieren grandes áreas de infiltración, se deben prever programas de contingencia ante probables fallas del sistema, un mal funcionamiento del sistema de infiltración puede generar una seria amenaza a la salud pública y el medio ambiente. Entre las medidas que se pueden tomar se tienen la construcción de celdas o zanjas adicionales de reserva y/o áreas libres para futuras ampliaciones..

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas	Desventajas
<p>Es una solución de tratamiento in situ de aguas residuales de origen doméstico.</p> <p>En condiciones de O&M adecuados puede tener un periodo de vida útil superior a 20 años.</p> <p>Se puede emplear para el tratamiento de aguas negras y/o grises.</p> <p>Requiere bajos costos de inversión, así como de operación y mantenimiento.</p>	<p>Requiere de un estudio detallado de las condiciones de suelo y de impacto en los acuíferos subterráneos.</p> <p>Vulnerable a la infiltración de aguas pluviales y picos de caudal.</p> <p>No es eficiente en la remoción de nitratos, los cuales tienen impacto en la salud pública y los recursos hídricos.</p> <p>Requiere de un área per cápita relativamente grande, dependiendo de la tasa de percolación.</p>

Referencias

EPA – 2002. Onsite Wastewater Treatment Systems Manual

South Australian Health Commission. Standard for the Construction, Installation and Operation of Septic Tank Systems in South Australia.

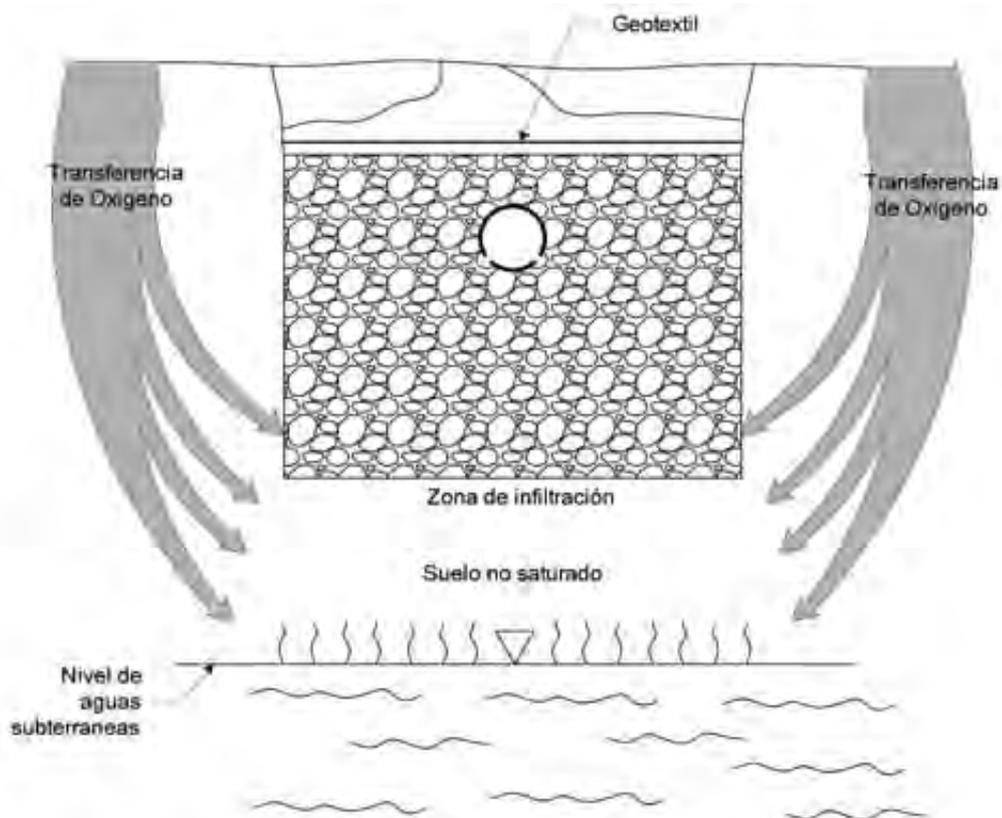
Crites – Tchobanoglous. Small and Decentralized Wastewater Managesment Systems. Mc Graw Hill, 1998.

Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, Reuse. Mc Graw – Hill International Editions,1991.

José M. de Azevedo Netto. Disposição de efluentes de tanques sépticos residenciais. Cuaderno Técnico – 1985.

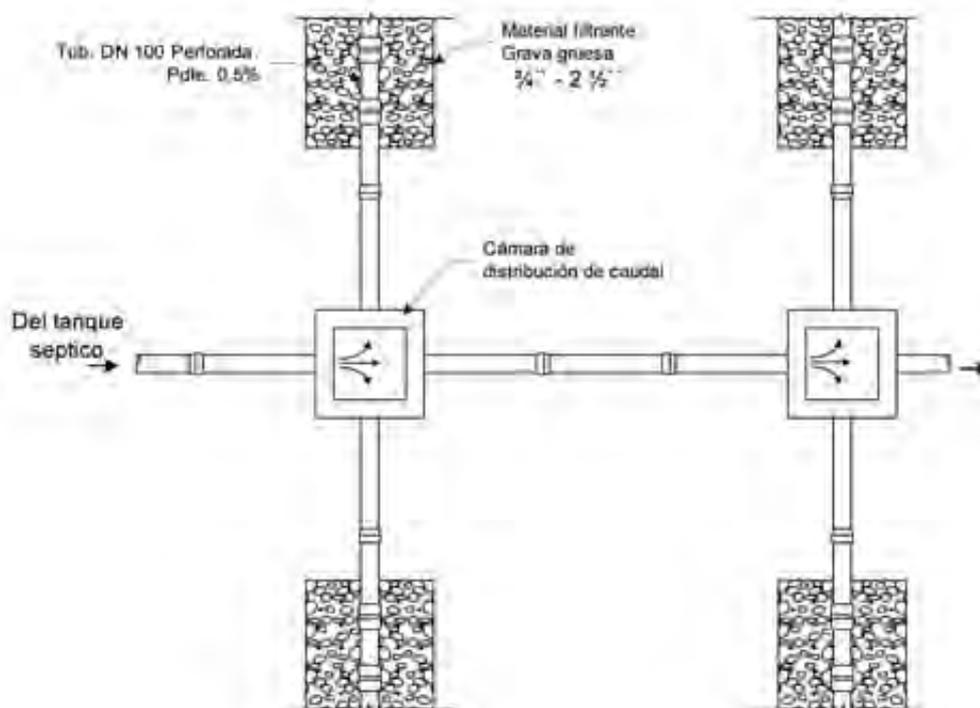
Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS



Fuente: Ayres Associates, 2000

Flujo de reaireación del subsuelo



Detalle de tubería de drenaje.

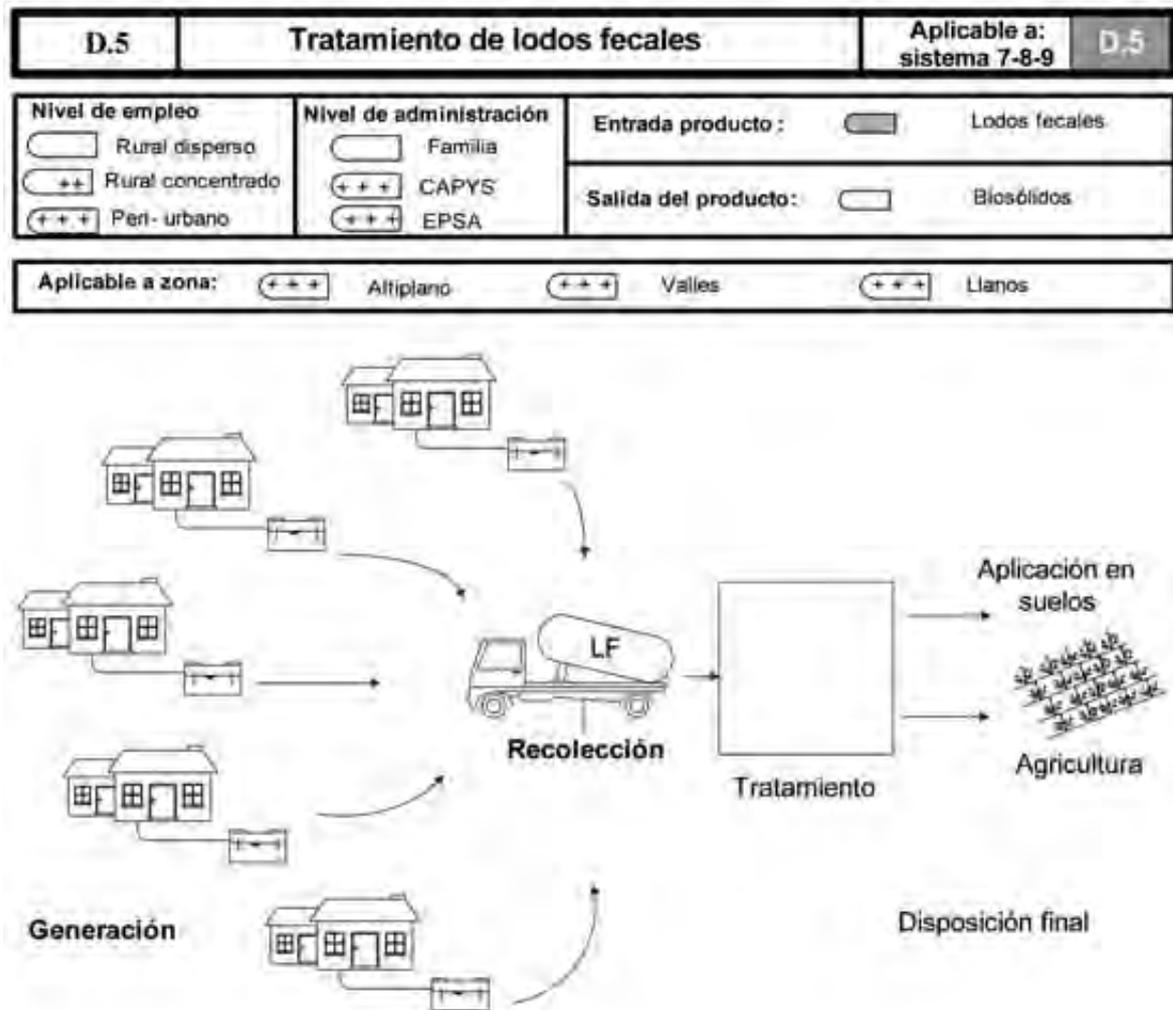


Fig.1. Gestión de lodos fecales

DESCRIPCIÓN

El tratamiento de lodos fecales comprende la recolección, tratamiento y disposición final, se aplica a aquellos lodos que tienen su origen en los sistemas descentralizados de saneamiento in situ, ver Fig. 1, tales como baños con arrastre de agua, cámaras sépticas, pozos absorbentes y similares.

La gestión de los lodos de estos sistemas tiene por finalidad proteger la salud pública, mitigar los impactos ambientales y promover su reuso con fines productivos y ecológicos.

Las soluciones tecnológicas descentralizadas de saneamiento in situ deben incluir la gestión de lodos fecales con un enfoque integral que comprenda los aspectos institucionales, tecnológicos, sociales, económico financieros y ambientales. La gestión de lodos fecales de sistemas descentralizados de saneamiento debe ser considerada desde la fase de planificación y diseño de todo programa/proyecto. El lodo fecal es un subproducto de todo sistema de saneamiento in situ y su tratamiento los transforma en valiosa fuente de nutrientes (fertilizante) y como acondicionador del suelo. Sin embargo, por su alto contenido de patógenos y materia orgánica, debe ser siempre sujeto a un proceso de tratamiento antes de su empleo en la agricultura o disposición final.

Recolección y Transporte

La producción de lodos fecales en los sistemas descentralizados genera volúmenes significativos de sólidos que implican riesgos a la salud pública asociados con su manipuleo (recolección y transporte).

Tratamiento y disposición final

El grado de tratamiento de lodos fecales depende del uso y disposición final que se pretenda dar a los mismos. En el caso de su aplicación en la agricultura, y/o protección de la salud pública, se deberá prestar atención a la contaminación por huevos de helmintos. En este caso, las opciones de tratamiento de lodos fecales deben estar focalizadas a inactivar los organismos patógenos a niveles aceptables. Es recomendable la aplicación del principio de multi-barreras para la gestión de lodos, estableciendo procesos o etapas de tratamiento que limiten la transmisión de enfermedades originadas por el manejo de los mismos. En este sentido, el objetivo de todo tratamiento es producir biosólidos de calidad segura y que sean técnica y económicamente apropiados. La Tabla 1, muestra valores guía para el tratamiento de aguas residuales en la agricultura (como fertilizante o acondicionador de suelos). Basados en estos valores Strauss (1991) propone un valor guía para biosólidos de 3-8 huevos de helmintos/g de sólidos totales (ST).

En caso de que los lodos fecales sean dispuestos en el medio ambiente el tratamiento deberá en primer lugar focalizar su atención en el contenido de materia orgánica (DBO_5) y/o nitrógeno amoniacal.

Tabla 1. Objetivos de salud para aguas residuales tratadas y su uso en la agricultura (OMS)

Exposición	Log10 reducción de patógenos	No de huevos de helmintos por litro
Riego irrestricto		
Lechugas (hojas)	6	≤ 1
Ajos (raíces)	7	≤ 1
Riego restringido		
Altamente mecanizado	3	≤ 1
Intensivo en mano de obra	4	≤ 1
Localizado (riego por goteo)		
Cultivos de alto crecimiento	2	SR
Cultivos de bajo crecimiento	4	≤ 1

WHO. Vol. II. Wastewater use in agriculture, 2006.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Considerando que los lodos fecales poseen una alta y variable concentración de diversos contaminantes, no es posible tratarlos como un tipo común de agua residual. El tratamiento exige un esquema particular de tratamiento y criterios de diseño adaptados a cada situación en particular, para lo cual se recomienda realizar los estudios de campo y laboratorio antes de considerar opciones tecnológicas.

La factibilidad de un sistema de tratamiento de lodos fecales debe considerar las condiciones específicas de cada región: Altiplano, Valles, Llanos.

La selección de un sistema de tratamiento busca; i) tener bajos costos de inversión así como de operación y mantenimiento; ii) requerir un mínimo de equipos mecanizados y energía; iii) ser compatible con las capacidades y recursos locales de mano de obra y materiales; iv) adaptarse a la capacidad institucional del operador del servicio y la institucionalidad del sector.

La Tabla 2, muestra algunos criterios a tomar en cuenta para la selección de tecnología para un sistema de tratamiento de lodos fecales.

Tabla 2. Criterios de selección de opciones técnicas de tratamiento de lodos fecales

Rendimiento	Operación y Mantenimiento	Costos
Consistencia y estabilidad física de los biosólidos como reducción del volumen de lodos, ST 20-30%, eliminación de patógenos, helmintos, materia orgánica, etc.	Disponibilidad de mano de obra, requerimiento de personal especializado, disponibilidad de materiales locales.	Requerimiento de terrenos.
Calidad patogénica de los biosólidos	Personal especializado requerido para la operación y supervisión	Costos de inversión requeridos
Calidad del efluente residual	Riesgo de fallas en las instalaciones o por problemas en la dirección y/o por procedimientos equivocados.	Costos de O&M

CRITERIOS DE DISEÑO

Características físico – químicas

La característica más importante de los lodos fecales es el contenido de humedad que varía dependiendo del tipo u origen de los lodos. En el caso de los lodos sépticos, provenientes de los tanques sépticos, el porcentaje de contenido de agua puede variar de 90 a 95%. La Tabla 3, presenta valores característicos de composición de lodos sépticos que son evacuadas a través de los sistemas in situ de tanques sépticos.

Tabla 3. Características físicas y químicas de lodos sépticos

Constituyente	Valor
BOD (mg/L)	7 000
COD (mg/L)	15 000
Sólidos totales (mg/L)	40 000
Sólidos totales suspendidos (mg/L)	15 000
Nitrógeno total, TKN, (mg/L)	700
Amoniaco, NH ₃ - N, (mg/L)	150
Fósforo total, P, (mg/L)	250
Grasas (mg/L)	8 000
pH	6

Ref.: EPA, 1984

Los lodos fecales, comparando su composición con las aguas residuales domésticas, tienen altas concentraciones de sólidos, materia orgánica, amoníaco y huevos de helmintos. La gran diferencia con las aguas residuales domésticas, deriva del hecho de que estas concentraciones sufren grandes variaciones que dependen de i) tiempo de almacenamiento de los lodos (meses, años) ii) Periodo de limpieza de los tanques sépticos o depósitos de almacenamiento de lodos, iii) Eficiencia del tanque séptico como unidad de pretratamiento, iv) temperatura ambiente, v) infiltración de aguas subterráneas en las unidades de pretratamiento vi) contenido de grasas, detergentes, residuos sólidos de las aguas residuales.

Contenido de patógenos

En muchos lugares de Latinoamérica, incluyendo Bolivia, las infecciones por nematodos (helmintos), son de alta prevalencia (Ascaris, Trichuris, Ancylostoma, Strongyloides) lo cual se manifiesta inclusive los biosólidos resultantes de los diferentes sistemas de tratamiento de lodos.

Dependiendo del tiempo y de tipo de tratamiento, solo una proporción de huevos de helmintos permanecerá viable. La Tabla 4, nos muestra una referencia (OPS/OMS) del contenido de huevos de helmintos en aguas residuales domésticas y biosólidos.

Tabla 4. Huevos de helmintos en lodos fecales tratados y aguas residuales tratadas

Lugar y Sistema de tratamiento	Huevos de helmintos/ L de lodos fecales y/o aguas residuales sin tratamiento		Huevos de helmintos en lodos tratados	
	Lodos fecales	Aguas residuales	No de huevos/ g.ST	Huevos viables
Brasil, lagunas de oxidación		1 000 (nematodos)	1 400 - 40 000	2-8 %
Perú, Chiclayo, lagunas de oxidación		10 - 40 (nematodos)	60-260	1-5%
Asia, Bangkok, planta piloto de humedales (lechos de secado en humedales de flujo subsuperficial)	600 - 6 000 (lodos sépticos, nematodos)		170	0,2-3,1 %

De acuerdo a los estudios de la OPS/OMS, la supervivencia de organismos patógenos en diferentes ambientes se indica en la Tabla 5. De acuerdo a esta tabla, los helmintos son los organismos patógenos de mayor supervivencia en el medio ambiente.

Tabla 5. Supervivencia de organismos patógenos en el medio ambiente (20° - 30° C de Temp.)

Organismo	Tiempo de sobrevivencia en días		
	Agua fresca y aguas residuales	Cultivos	Suelo
Virus			
Enterovirus	< 120, usualmente <50	< 60, usualmente <15	<100, usualmente <20
Bacteria			
Coliformes termotolerantes	< 60, usualmente <30	< 30, usualmente <15	<70, usualmente <20
Salmonella spp.	< 60, usualmente <30	< 30, usualmente <15	<70, usualmente <20
Shigella spp.	< 30, usualmente <10	< 10, usualmente <5	SD
V. Cholerae	SD	< 5, usualmente <2	<20, usualmente <10
Protozoarios			
E. Histolytica	< 30, usualmente <15	< 10, usualmente <2	<20, usualmente <10
Cryptosporidium	< 180, usualmente <70	< 3, usualmente <2	<150, usualmente <75
Helmintos			
Huevos de Áscaris	Años	< 60, usualmente <30	Años
Huevos de Tenia	Muchos meses	< 60, usualmente <30	Muchos meses

Metales pesados

Por su origen, el contenido de metales pesados en lodos fecales de sistemas descentralizados es de baja concentración. Su control puede ser necesario a objeto de limitar la acumulación de estos en suelos y productos agrícolas. La concentración máxima de metales pesados en lodos sépticos para su uso en la agricultura se indican en la Tabla 6, para diferentes países y su comparación con valores admisibles de la Unión Europea.

Tabla 6. Metales pesados en lodos sépticos y valores admisibles en la Unión Europea para su uso en la agricultura (mg/kg ST)

Parámetro	Bangkok	Manila	U.S	EU Tolerancia en lodos
Cadmio	2,8	5,3	18	20-40
Plomo	6,8	84	216	750-1,200
Cobre	289	64	165	1 000-1 750
Zinc	2 085	1 937	1 263	2 500-4 000
Cr	20	16	28	1 000-1 500

Ref.: Agnés Montangero & Martin Strauss, 2002

Para fines de diseño, la Tabla 7 nos muestra valores referencias de las principales características de lodos fecales.

Tabla 7. Producción per cápita de lodos fecales

Variable	Lodos sépticos	Baños públicos	Baños	Excreta fresca
Materia orgánica (g DBO /hab.día)	1	16	8	45
Sólidos totales (g ST/hab.día)	14	100	90	110
Nitrógeno total (g KNT/hab.día)	0,8	8	5	10
Cantidad de lodos per cápita (L/hab. día)	1	2	0,15-0,20	1.5

Ref.: Ref.: Heinss et al.1998

Opciones de tratamiento

El sistema de tratamiento de lodos fecales comprende las siguientes etapas; i) separación de la fracción sólida/líquida, a través de la reducción del contenido de humedad de los lodos; ii) estabilización de los lodos parcialmente digeridos. Los lodos que han alcanzado un alto grado de estabilización, pueden ser directamente deshidratados o desecado; iii) si el objetivo principal es el de mitigar la contaminación ambiental (descarga a cursos superficiales); el sistema de tratamiento deberá ser capaz de alcanzar elevadas eficiencias en remoción de materia orgánica y nutrientes (DBO, N y P); iv) si el objetivo final es el aprovechamiento de los lodos en la agricultura, se deberá priorizar la remoción de patógenos y reducir la pérdida de nutrientes (N y P); v) alcanzar niveles de higienización de los lodos de manera que su uso, como acondicionador de suelo o fertilizante, no implique riesgos a la salud.

Un resumen de las opciones tecnológicas de tratamiento de lodos fecales se indican en la Tabla 8.

Tabla 8. Opciones de tratamiento de lodos fecales

Descripción	Fracción sólida	Fracción líquida
Lechos de secado	Reuso en la agricultura	Lagunas de estabilización, cotratamiento en una PTAR, humedales artificiales.
Estanques de sedimentación/ lagunas de estabilización.	Compostaje, lechos de secado, agricultura.	Lagunas de estabilización anaeróbicas, cotratamiento en una PTAR, humedales artificiales.
Cotratamiento en planta de tratamiento de aguas residuales municipales (PTAR).	Compostaje, lechos de secado, agricultura.	Descarga en el sistema de tratamiento de aguas residuales.
Compostaje de lodos fecales	Reuso irrestricto en la agricultura	No se generan residuos líquidos, el proceso reduce el contenido de humedad.
Almacenamiento de lodos pretratados	Reuso en la agricultura o acondicionador de suelo	Es drenada a un sistema de tratamiento de lagunas de estabilización o humedales.

Lechos de secado

Los lechos o eras de secado se utilizan para la deshidratación/secado natural de lodos fecales pretratados (lodos sépticos, lodos de baños, inodoros ecológicos y similares), en los cuales estos se extienden en capas de 20 a 30 cm para dejarlos expuestos al aire libre. Una vez deshidratado el lodo, se lo extrae y reutiliza como material de relleno, acondicionador de suelo o como fertilizante (dependiendo del tipo de cultivo). La fracción líquida del lodo, en parte se evapora, y en un mayor porcentaje (50-80%) se infiltra en el suelo, para su recolección mediante un sistema de drenaje y posterior tratamiento (disposición en lagunas de estabilización y/o humedales artificiales), ver Fig.2.

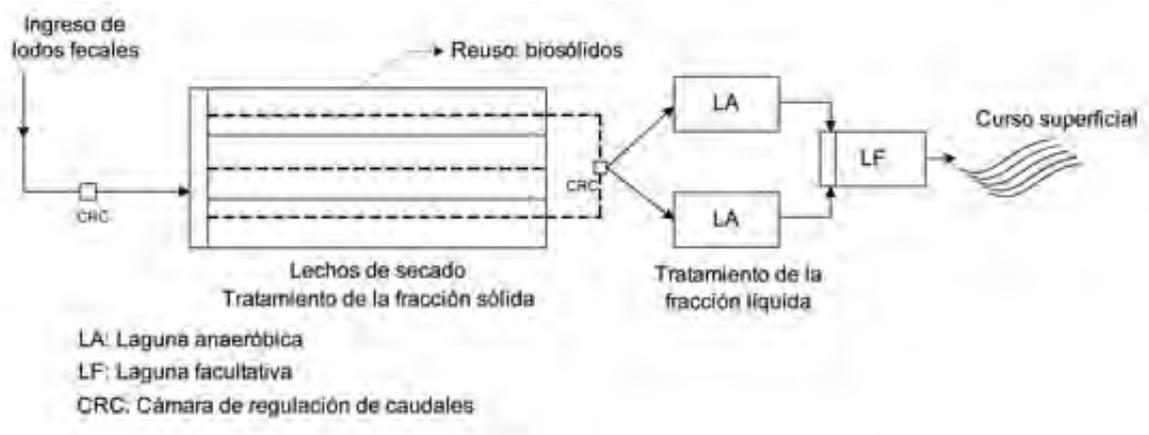


Fig. 2. Tratamiento de lodos fecales. Lechos de secado

La selección de este método de tratamiento depende de la disponibilidad de terreno, de las características del lodo y de su disposición final. Este sistema es aplicable en poblaciones pequeñas y medianas y en zonas urbanas-periurbanas con disponibilidad de terrenos para su implementación. Cuando el lodo desecado es aplicado en la agricultura, el control de nematodos (huevos de helmintos) deberá ser el principal criterio de calidad ($\leq 3-8$ huevos/g ST para riegos restringido y ≤ 1 para riego irrestricto). En caso de no lograrse los niveles requeridos de remoción de patógenos podrán aplicarse técnicas adicionales de tratamiento como el almacenamiento o compostaje.

Dependiendo de su ubicación y condiciones climáticas, los lechos de secado pueden ser cubiertos o expuestos al aire libre, con lecho de arena o con baldosas de concreto. Los lechos de secado con exposición al aire libre se emplean cuando se dispone de una superficie suficientemente aislada de los centros poblados, que evite quejas por potenciales riesgos de generación de malos olores y por la contaminación del aire causada por dispersión de partículas sólidas por la acción del viento. Es importante en este tipo de lechos de secado tomar en cuenta el régimen de precipitaciones su estacionalidad, intensidad y duración. Los lechos de secado que se encuentran bajo cubierta, se utilizan como invernaderos, cuando las condiciones climáticas son adversas, con altas precipitaciones pluviales, y en situaciones de que exista insuficiente aislamiento para la construcción de lechos de secado descubiertos.

Los principales parámetros de diseño y especificaciones técnicas para la implementación de un sistema de tratamiento de lechos de secado se indican en

la Tabla 9. Los valores que se indican son una referencia, dependiendo de las condiciones locales, se requerirán estudios más específicos.

Tabla 9. Guías de diseño de lechos de secado de lodos.

Parámetro	Valor	Observación
Ancho (m)	4-18	
Largo (m)	6-30	
Espesor del estrato de arena (m)	0,20-0,30	Tamaño efectivo de 0,30-0,75 mm. Dos capas: i) arena fina; ii) arena gruesa. CU > 40.
Espesor del estrato de grava	0,30	Tres capas; de 2,5-25 mm i) grava fina; ii) grava media; iii) grava gruesa.
Diámetro tubería de drenaje (m)	0,15	Con juntas abiertas o tubería perforada
Separación de la tubería de drenaje (m)	2,4-6,0	
Velocidad de la tubería de conducción de lodos a los lechos de secado (m/s)	0,75	
Espesor de la capa de lodo (m)	0,20-0,30	Descarga de lodos fecales.
Periodo de secado del lodo (semanas).	2-12	Depende de las condiciones climáticas y naturaleza del lodo.
Carga de aplicación de sólidos secos (kg.ST/m2.año):		
Lechos descubiertos	49-122	Sin protección
Lechos cubiertos	58-200	Cubiertas, tipo invernadero
Área requerida (m2/hab):		
a) Lechos descubiertos:		
Lodo primario y humos digerido	0,09-0,14	Depende de las condiciones climáticas
Lodo primario y humos digerido	0,11-0,16	
b) Lechos cubiertos:		
Lodo primario y humos digerido	0,07-0,09	
Lodo primario y humos digerido	0,09-0,11	

Una variedad de lechos de secado de lodos consiste en estanques de arena (lechos de arena) con plantaciones y/o vegetación acuática, ver Fig. 5. En los lechos de arena la evapotranspiración de las plantas acuáticas tiene un efecto adicional en el proceso de deshidratación de lodos, mejorando la separación de la fracción sólida/líquida y facilitando el drenaje de la parte líquida de los lodos así como el escurrimiento pluvial estacional. Alternativamente, se pueden emplear humedales artificiales, que requieren de menor superficie. En ambos casos, la fracción líquida drenada debe ser sujeta a un tratamiento posterior para su disposición final.

Estanques de sedimentación/lagunas de estabilización de lodos

El tratamiento tiene por objetivo la reducción del volumen de lodos fecales (separación de la parte líquida/sólida, espesamiento), a través de un proceso natural de sedimentación donde el agua libre es separada de los sólidos por la acción gravitacional. El sistema de tratamiento consiste en estanques o reservorios de sedimentación primaria para la separación de lodos y lagunas de estabilización para el tratamiento del efluente (sobrenadante) de la parte líquida de los lodos, ver Fig. 3. La remoción de sólidos suspendidos que se logra es mayor al 80%. Los lodos así sedimentados son sometidos a un tratamiento posterior mediante lagunas o lechos de secado y/o compostaje. Para el tratamiento de la fracción líquida, que aún contiene sólidos suspendidos y elevadas concentraciones de materia orgánica, se emplean lagunas de estabilización. Por su elevada salinidad, no es recomendable el empleo del efluente de estas lagunas en la agricultura.

Los estanques de sedimentación requieren de un área bastante menor que los exigidos en los lechos de secado. Por razones de O&M (retiro de lodos), es necesario considerar la construcción de al menos dos unidades de sedimentación.

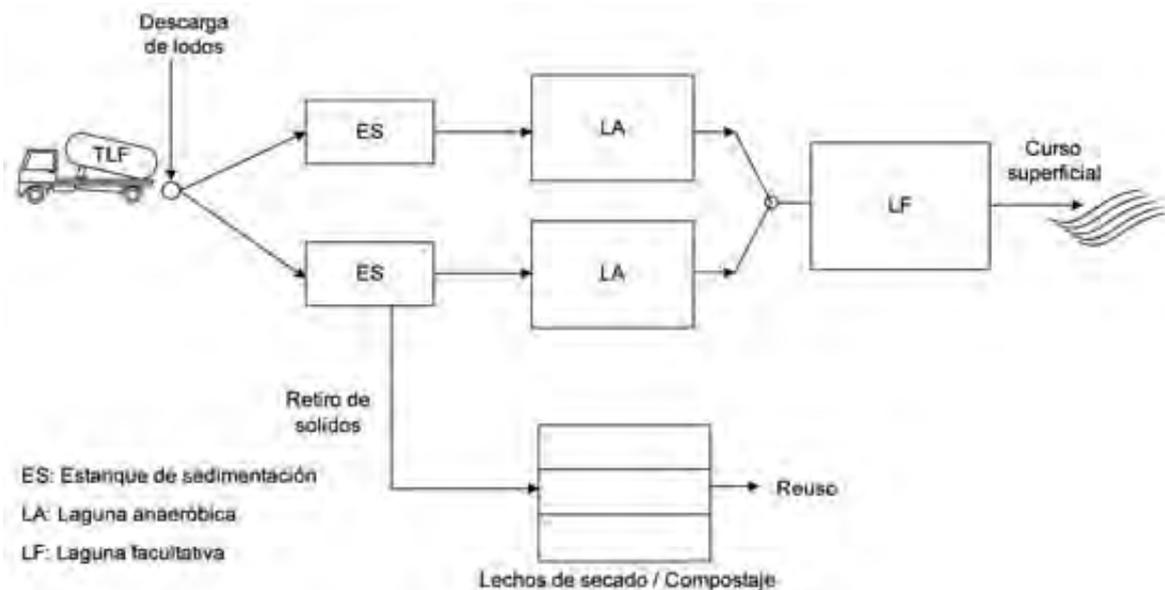


Fig. 3. Tratamiento de lodos mediante estanques de sedimentación

Los principales parámetros de diseño y especificaciones se indican en la Tabla 10 como una referencia, dependiendo de las condiciones locales, se requerirán estudios más específicos a nivel de laboratorio.

Tabla 10. Guías de diseño de estanques de sedimentación de lodos fecales

Parámetro	Valor	Observación
Remoción de sólidos suspendidos %	>=80%	
Ciclo de carga (semanas)	8	
Contenido de ST en los lodos sedimentados (%)	14-16	
Carga de aplicación de sólidos secos (kg TS/m ² .año)	1 200	
Superficie requerida (m ²)	0.006	
Caudal en el vertedero de salida (m ³ /h)	8-10	
Carga orgánica en lagunas anaeróbicas (g DBO/m ³ .día)	300-400	Para temperaturas >= 20° C
Tiempo de retención de lodos digeridos en los sedimentadores (d)	3-4	Considerando el espesamiento del lodo digerido.
Remoción de carga orgánica %	>=30	
Tasa de acumulación de lodos (L/kg ST)	5-9	
Periodo de acumulación de lodos (semanas)	2-8	
Carga hidráulica superficial del estanque de sedimentación (m/h)	1,0-1,50	
Carga superficial de sólidos secos (kg ST/m ² .día)	90-140	
Relación largo : ancho, estanque de sedimentación	4:1-8:1	
Tubería de drenaje (mm)	>= 150	
Profundidad del tanque de sedimentación (m)	2,50-3.5	Zona de sedimentación, agua sobrenadante y zona de espesamiento.

Ref.: Heinss et al., 1998.

Cantidad per cápita asumida: 1,0 L/hab. día

Cantidad de ST de los lodos fecales: 20 g/L

Cotratamiento en plantas de tratamiento de aguas residuales

En localidades donde parte de la población cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario y una planta de tratamiento de aguas residuales, la alternativa de emplear estas instalaciones para la recolección y tratamiento de lodos debe ser considerada como una opción tecnológica. (dependiendo de los factores técnicos y/o económicos). En la Fig. 4, se muestra de un esquema del tratamiento propuesto que consiste en la implementación de estanques o lagunas de sedimentación de lodos que se interconectan con el sistema de tratamiento de aguas residuales. Los estanques de sedimentación tienen por objetivo la de remover la parte sólida de los lodos mientras que la parte líquida es descargada al sistema de tratamiento de aguas residuales. Los lodos así removidos son tratados posteriormente en lechos de secado o compostaje, dependiendo de su disposición final. Para fines de un pre diseño, se pueden aplicar las guías de la Tabla 10.

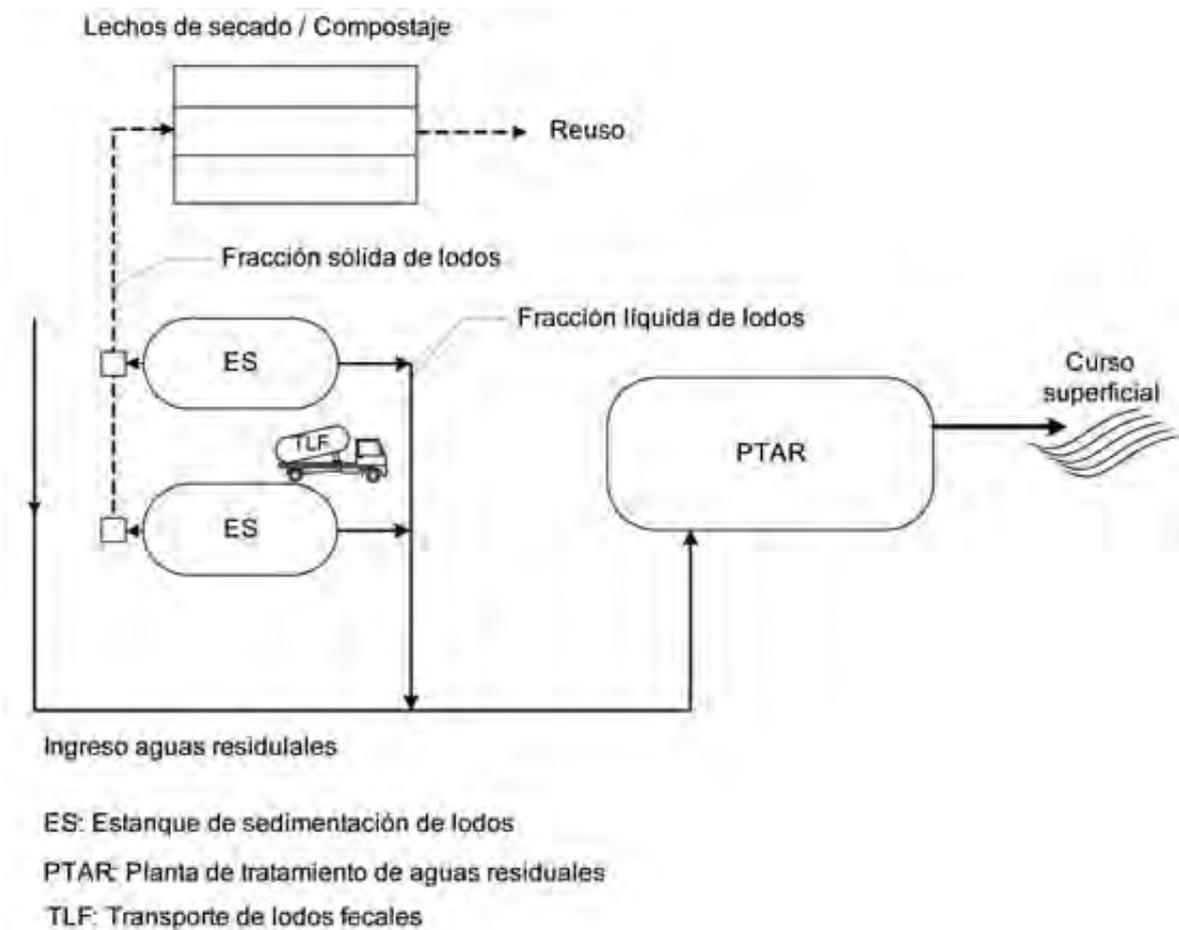


Fig. 4. Esquema de cotratamiento de lodos

Compostaje de lodos fecales

El compostaje de lodos fecales es una técnica de tratamiento por la cual el lodo pretratado, con un contenido de humedad menor a 80%, se combina con materia orgánica seleccionada (papel, virutilla, trozos de madera, ramas, residuos sólidos orgánicos domésticos, agrícolas, etc.) para su estabilización y pasteurización. Estos materiales que se adicionan influyen favorablemente en el contenido de humedad, las condiciones de aireación y la relación C/N, estimulando la estabilización de los lodos a través de la actividad biológica (bacterias termofílicas). El proceso de compostaje comprende; i) el consumo de oxígeno; ii) el proceso de metabolismo que involucra la relación carbono, nitrógeno y fósforo y la acción de las bacterias termofílicas; iii) la generación de un ambiente generador de calor (35° C-65° C), que es causa de la destrucción de organismos patógenos.

La función de los aditivos orgánicos es la de incrementar la relación C/N hasta un valor de 30, así como la de reducir el contenido de humedad a menos del 50% e incrementar la porosidad para mejorar la aireación y facilitar el proceso de estabilización de la materia orgánica. A mayor contenido de humedad del lodo fecal pretratado, mayor será la cantidad de aditivos a ser añadidos. La Tabla 11, muestra algunos datos del proceso de compostaje y sus características.

Tabla 11. Compostaje de lodos fecales. Características del proceso.

Parámetro	Valor	Observación
Temperatura máxima durante pocos días.	65° C	El incremento de la temperatura es resultado de la actividad microbiológica (3-5 días).
Temperatura media durante periodos prolongados.	35° C	
Relación C/N	25-35	La relación C/N de los lodos fecales es < 15, por lo cual se adiciona materia orgánica.
Contenido de humedad %	50-65	Contenido mínimo de agua en la mezcla para desarrollar la actividad microbiológica.
pH	5,5-8,0	El pH puede variar dependiendo del proceso de compostaje.
Calidad del lodo fecal deshidratado (% ST)	20 - 25	Porcentaje de sólidos secos a ser obtenido en el pretratamiento (80 - 75% de contenido de agua)
Óptima concentración de oxígeno en volumen %	5 - 15	
Relación de volúmenes de lodos y aditivos.	1:2	Relación de volúmenes para producir una mezcla deseada de compost.
Tiempo de retención:		
Compostaje (días)	14 - 20	
Curado (días)	30 - 60	Se requiere este periodo para la estabilización del compost.

Un compostaje bien operado produce un producto libre de patógenos (compost) y se constituye en un buen acondicionador de suelo y excelente fertilizante.

Almacenamiento

En el caso de lodos provenientes de estanques de sedimentación o lechos de secado, un periodo adicional de almacenamiento de lodos, superior a los 6 meses, contribuye a la eliminación total de patógenos (por decaimiento natural) y disminuye los riesgos de contaminación microbiológica.

Disposición final de lodos fecales tratados

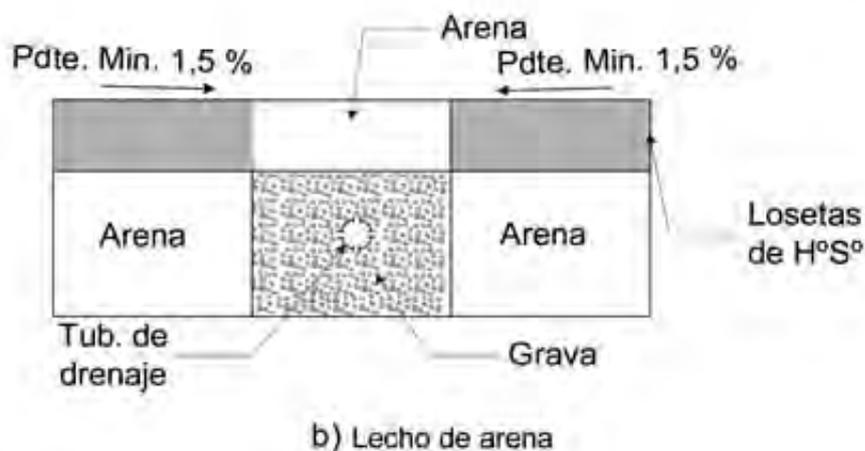
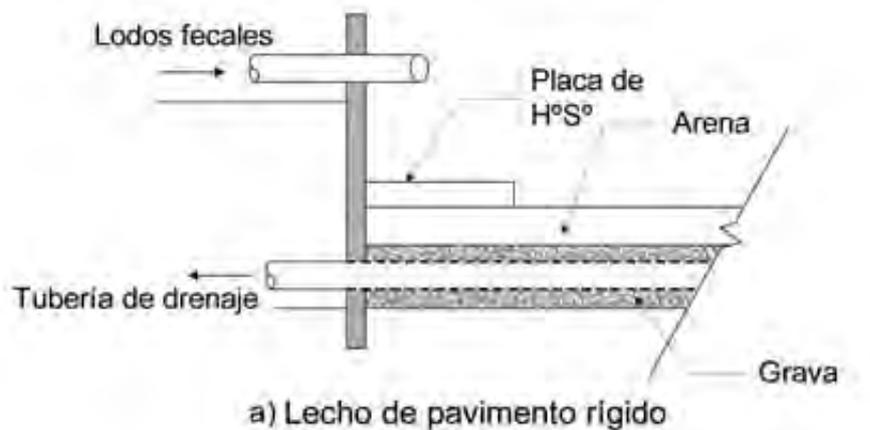
La disposición final de los lodos tratados puede ser realizada de dos maneras i) reuso agrícola, reforestación, jardinería y/o acondicionador de suelos; y ii) aplicación en suelos y/o disposición en rellenos sanitarios de tratamiento de residuos sólidos. Es preferible el reuso en la agricultura, considerando que los lodos fecales provenientes de sistemas descentralizados, tienen bajos niveles de contaminación química y por lo tanto deben ser considerados como un recurso a ser valorizado en el largo plazo. En este sentido, el reciclaje de lodos es siempre la mejor opción por su potencialidad de empleo en cultivos agrícolas, reforestación, mejoramiento de suelos, etc.

La disposición de lodos tratados en suelos y/o rellenos sanitarios solo se debiera considerar en el caso de no existir la demanda de los mismos para su reciclaje en otros usos. La disposición en suelos se facilita por el hecho de que los lodos han sido suficientemente deshidratados (contenido de humedad <80%) por lo que su manejo es mucho más fácil.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Lechos de secado

Las áreas de secado se dividen en franjas individuales de aproximadamente 6 m de ancho por 30 m de largo, dimensionadas de modo que cada franja corresponda a un determinado volumen de lodos a ser recolectados semanal o mensualmente. En general se recomienda calcular el tamaño de las franjas de manera que cada una de ellas se pueda llenar 7 veces al año en capas de 0,20 a 0,30 m de espesor. Las divisiones interiores consisten en tabiques de madera o de mampostería de piedra o ladrillo. La mayor parte del proceso de secado se produce por percolación en el lecho de arena, por lo cual es importante prever un sistema de drenaje adecuado. Los tubos de drenaje se instalan con juntas abiertas, o tubería perforada, separados cada 2,4 a 6,0 m. Sobre la tubería de drenaje se colocan diferentes capas de grava graduada y material filtrante, ver Fig. 5.



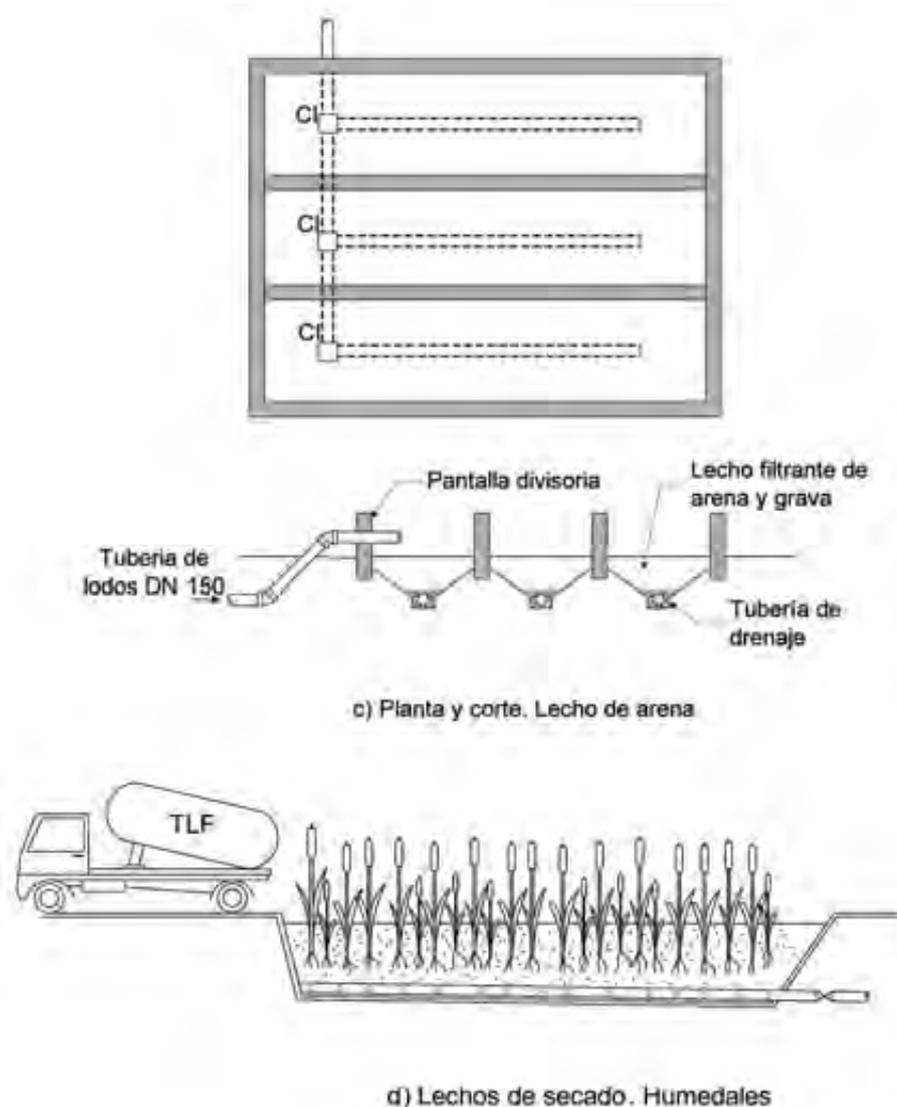


Fig. 5. Detalles constructivos. Lechos de secado de lodos

En los lechos de secado con pavimento rígido, se instalan losetas de hormigón, dejando las juntas abiertas, instaladas con una pendiente mínima del 1,5%.

Estanques de sedimentación/lagunas de estabilización de lodos

Los estanques de sedimentación se construyen de hormigón armado, de forma rectangular, con una estructura de ingreso constituida por una chapa deflectora que distribuye el caudal de forma uniforme, ver Fig.6. En la salida se prevé un vertedero horizontal que distribuye el efluente de la fracción líquida de manera uniforme. El lodo sedimentado se almacena en tolvas localizadas al ingreso, cuya solera tiene una pendiente de 1:8 a 1:10. El volumen de las tolvas será suficiente para almacenar los lodos decantados semanal/mensualmente, hasta su remoción mediante una tubería de drenaje que funciona hidráulicamente (con una presión hidrostática no menor a 1,50 m por debajo del nivel del agua en el estanque).

En el caso de que se empleen lagunas de oxidación de lodos, los detalles constructivos correspondientes son los mismos que los indicados en la ficha técnica correspondiente a lagunas de estabilización de aguas residuales.

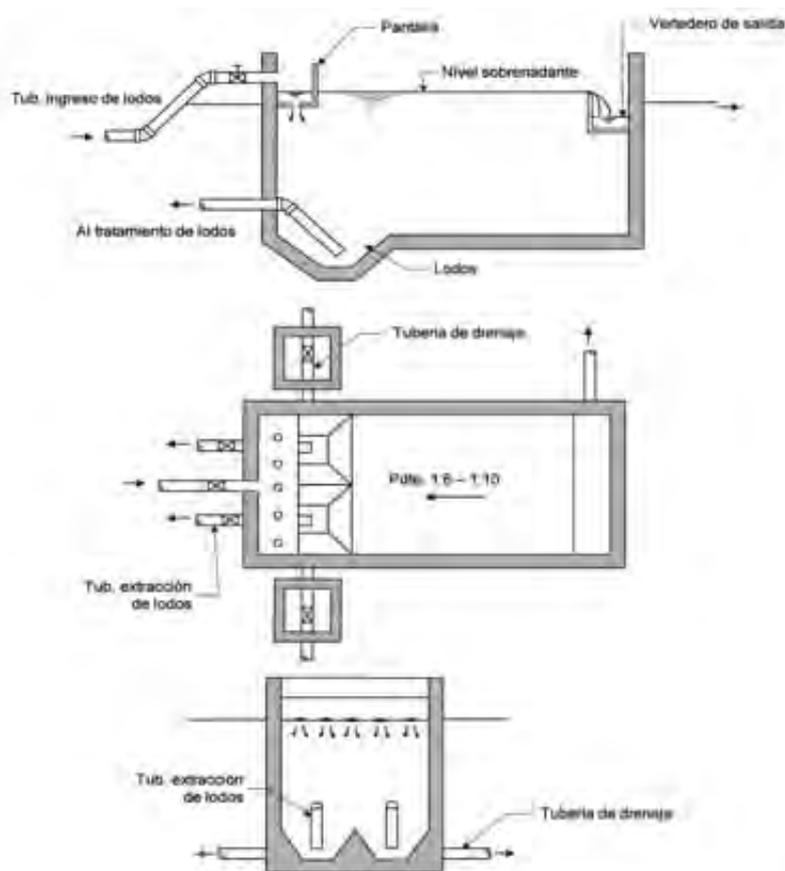


Fig.6. Planta y cortes. Estanques de sedimentación de lodos fecales
Cotratamiento en plantas de tratamiento de aguas residuales

Los detalles constructivos son similares al diseño de los estanques de sedimentación de lodos fecales y a los correspondientes al diseño de lagunas de estabilización.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para la recolección de lodos sépticos, es preferible el empleo de bombas de succión de lodos o bombas de vacío. De este modo se reduce el riesgo de exposición y contacto directo de los usuarios y trabajadores con el lodo y es por lo tanto la opción técnica más segura y disponible en los centros urbanos. Por los riesgos que implican el manejo de lodos, es necesario que toda unidad o medio de transporte de lodos deba estar sujeta al cumplimiento de las regulaciones sobre el manejo y disposición de lodos en centros poblados.

El manejo manual puede demandar que los usuarios o personal de limpieza entren en contacto directo con el tanque séptico, u otra unidad de saneamiento in situ, exponiéndose a riesgos en su salud. En cualquier caso, el manipuleo de lodos a cargo de los usuarios debe ser eliminado. Todo manejo manual deber ser realizado por personal capacitado para el efecto, que aplique buenas prácticas higiénicas, y que cuente con equipos y ropa de trabajo como guantes de goma, máscaras protectoras, etc.

La Tabla 12, muestra las tareas más importantes de O&M de las diferentes opciones tecnológicas que han sido consideradas.

Tabla 12. Actividades principales de operación y mantenimiento

Opción tecnológica	Actividad	Acciones claves
Lechos de secado	Retiro del material sólido en los lechos de secado.	Limpieza periódica del material retenido en las eras de secado y su disposición final (agricultura o medio ambiente).
	Control de helmintos	Análisis microbiológico de los lodos deshidratados, de acuerdo a su reuso o disposición final.
	Verificación del sistema de drenaje	Registro periódico del caudal de drenaje de la fracción líquida de los lodos tratados, control del tiempo de drenaje de la fracción líquida de los sólidos.
	Verificación del periodo de secado de lodos.	Registro periódico del tiempo de secado de lodos en las diferentes estaciones del año, control del contenido de humedad de los lodos deshidratados.
Estanques de sedimentación	Limpieza de las tolvas de almacenamiento de lodos	Medición de los lodos sedimentados y apertura de la válvula de drenaje de lodos. Desección de lodos y disposición final.
	Retiro del material flotante.	Limpieza regular de flotantes en el tanque de sedimentación.
	Control de niveles de agua en el sedimentador.	Registro y regulación de caudales en los vertederos de ingreso y salida del sedimentador.
Compostaje	Control de calidad del lodo entrante a la planta de compostaje.	Análisis del contenido de humedad de los lodos deshidratados, helmintos, metales pesados, pesticidas, si corresponde.
	Control de temperatura y humedad.	Medición de temperaturas y contenido de humedad durante el proceso.
	Control de las condiciones de aireación.	Mantener las condiciones de oxigenación del compost, ventilación, mezcla diaria de los componentes.
Almacenamiento de lodos.	Control de calidad de los lodos tratados.	Análisis del contenido de humedad, helmintos, metales pesados, pesticidas, si corresponde.

RESUMEN DE RIESGOS

La gestión de lodos fecales genera riesgos en la salud y el medio ambiente. La Tabla 13 muestra un resumen de los principales riesgos asociados a la recolección, tratamiento y disposición final de lodos fecales.

Tabla 13. Riesgos asociados a la gestión de lodos fecales

Evento	Peligro asociado	Causa	Medidas preventivas
Descarga directa de lodos fecales al medio ambiente.	Contaminación microbiológica y fisicoquímica de cuerpos de agua, suelo, acuíferos. Contacto humano con lodos fecales.	Carencia de un sistema de tratamiento de lodos. Ausencia de control de lanzamiento de lodos fecales al medio ambiente.	Implementación de una gestión de lodos fecales en la localidad. Control y monitoreo de descargas de lodos fecales.
Reuso irrestricto de lodos fecales en la agricultura.	Contaminación microbiológica de cultivos. Impacto en la salud pública por consumo de productos contaminados. Exposición a infecciones con <i>Áscaris</i> en niños y adultos con lodos fecales no tratados.	Reuso de lodos fecales sin tratamiento previo ni control sanitario.	Tratamiento de lodos y reuso controlado en determinado tipo de cultivos de acuerdo a la calidad de los biosólidos producidos. Control de huevos de helmintos. Diseño de un tratamiento terciario en función a tipo de cultivo aplicado.
Producción de malos olores.	Rechazo de la comunidad.	Generación de olores sépticos en las lagunas anaerobias de tratamiento de lodos y la descarga de lodos al medio ambiente.	Control de calidad de efluentes, ampliación de la capacidad de tratamiento de lodos fecales.
Presencia de mosquitos y vectores.	Reproducción de vectores de enfermedades transmisibles.	Mala operación de la planta de tratamiento de lodos, ausencia de tareas de limpieza y control de vectores.	Cumplimiento de las tareas de O&M, fortalecimiento institucional de la EPSA. Educación ambiental.
Acceso irrestricto a las plantas o unidades de tratamiento.	Contaminación por contacto directo de la población con lodos fecales.	Carencia de verjas o cercas de protección. Manipuleo de lodos fecales por parte de los usuarios.	Construcción, rehabilitación o reconstrucción de cercos de protección. Implementación de sistemas mecanizados de recolección de lodos fecales.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Lechos de secado. Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<p>Si existe disponibilidad de terreno, es la solución de menor costo de inversión.</p> <p>Menor requerimiento de mano de obra y de personal especializado.</p> <p>Nulo o bajo consumo de energía.</p> <p>Buena calidad de biosólidos con un % elevado de sólidos secos.</p>	<p>Limpieza periódica del material retenido en las eras de secado y su disposición final (agricultura o medio ambiente).</p> <p>Requiere extensiones de terreno relativamente grandes.</p> <p>Opera/funciona con lodo pretratado o estabilizado.</p> <p>Se debe tener cuidado en el diseño, considerando las condiciones climáticas (sensible al régimen de precipitaciones pluviales).</p> <p>Su retiro o limpieza de los lechos de secado requiere del empleo de mano de obra en gran intensidad.</p> <p>Visible al público en su operación (si no son instalaciones cubiertas).</p>

Estanques de sedimentación. Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<p>Requiere menor superficie de tratamiento.</p> <p>Simple proceso natural de tratamiento, separación gravitacional sólido/líquido.</p> <p>Fácil operación y mantenimiento.</p>	<p>Opera con lodos pretratados (lodos sépticos) y de otros sistemas de saneamiento que produzcan lodos parcialmente estabilizados.</p> <p>Los lodos/líquidos efluentes requieren de un posterior tratamiento.</p> <p>No funciona con lodos fecales en estado fresco (proveniente de baños públicos)</p>

Cotratamiento de lodos fecales en una PTAR. Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<p>Se ahorran recursos de inversión. La fracción sólida es separada en unidades de sedimentación.</p> <p>Los lodos retirados pueden ser reutilizados en la agricultura.</p>	<p>Se debe verificar la capacidad de tratamiento de los otros procesos de tratamiento.</p> <p>Cargas excesivas de materia orgánica (DBO) puede afectar el rendimiento de la PTAR.</p> <p>Riesgo de un llenado acelerado de sólidos en las unidades de tratamiento de la PTAR.</p> <p>La planta de tratamiento de aguas residuales debe estar ubicada de modo que los costos de transporte de los lodos fecales no sean elevados.</p>

Compostaje. Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<p>Producción de lodos pasteurizados, produciendo un lodo libre de patógenos.</p> <p>Simple en su operación y funcionamiento.</p> <p>Trata lodos deshidratados de diversa naturaleza.</p>	<p>Requiere mayor control de operación.</p> <p>Sensible a las condiciones climáticas (régimen de precipitaciones).</p> <p>Funciona con lodos pretratados (deshidratados)</p>

Referencias

- WHO, *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, 2006. Vol.IV. Excreta and greywater use in agriculture.*
- Crites, Tchobanoglous, *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, Mc Graw Hill, 1998.
- Agnés Montangero & Martin Strauss, *Faecal Sludge Treatment*, IHE Delft, 2003.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS

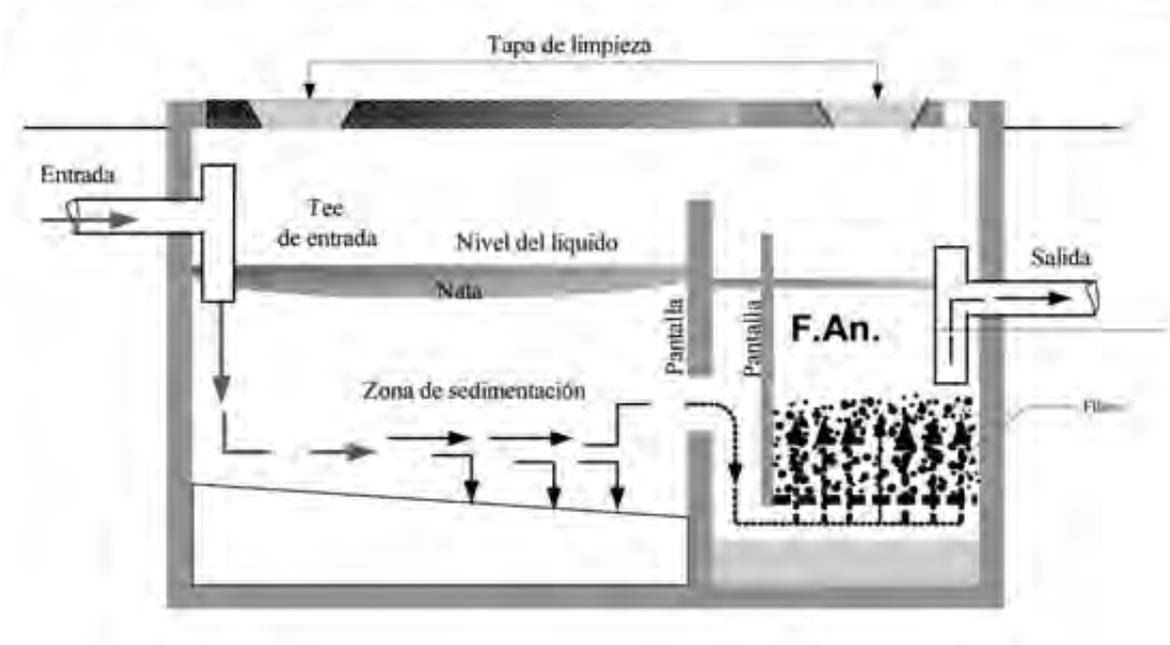


Foto. 1.1 Tratamiento de lodos. Lagunas de estabilización. Ciudad de Tarija.
COSAALT



Foto. 1.2 Tratamiento de lodos. Lagunas de estabilización. Ciudad de Tarija.
COSAALT

D.3		Filtro anaerobio		Aplicable a: Sistema 7,8,9	D.3
Nivel de empleo		Nivel de administración		Entrada producto :	<input type="checkbox"/> Aguas pretratadas
<input type="checkbox"/> Rural disperso	<input type="checkbox"/> + Familia	<input type="checkbox"/> + Familia		Salida del producto :	<input type="checkbox"/> Efluente mejorado
<input checked="" type="checkbox"/> +++ Rural concentrado	<input checked="" type="checkbox"/> +++ CAPYS	<input checked="" type="checkbox"/> +++ CAPYS			
<input checked="" type="checkbox"/> +++ Peri-urbano	<input checked="" type="checkbox"/> +++ EPSA	<input checked="" type="checkbox"/> +++ EPSA			
Aplicable a zona:		<input type="checkbox"/> + Altiplano	<input checked="" type="checkbox"/> +++ Valles	<input checked="" type="checkbox"/> +++ Llanos	



Fuente: eawag-2005

Fig. 1. Filtro anaerobio.

DESCRIPCIÓN

El Filtro Anaerobio es un reactor biológico que se compone de un lecho fijo de grava, que trabaja con el efluente de aguas residuales provenientes de un proceso previo de sedimentación (tanque séptico/Imhoff). Las aguas residuales atraviesan la capa del filtro grueso en forma ascendente, reteniendo en este proceso, las partículas en suspensión y desarrollándose un proceso de degradación de la materia orgánica a través de la formación de una biomasa en el material filtrante.

El Filtro Anaerobio (FAn) está compuesto de una cámara donde se almacena el material filtrante a través del cual se desarrolla la biomasa y en cuyos intersticios proliferan los microorganismos anaerobios. Es un tratamiento secundario que se complementa a una cámara séptica donde previamente han sido removidos los sólidos sedimentables. Dependiendo del tamaño, el FAn puede ser parte de la misma estructura del tanque séptico o ser construido en forma independiente (Véase Fig. 1 y Fig. 2).

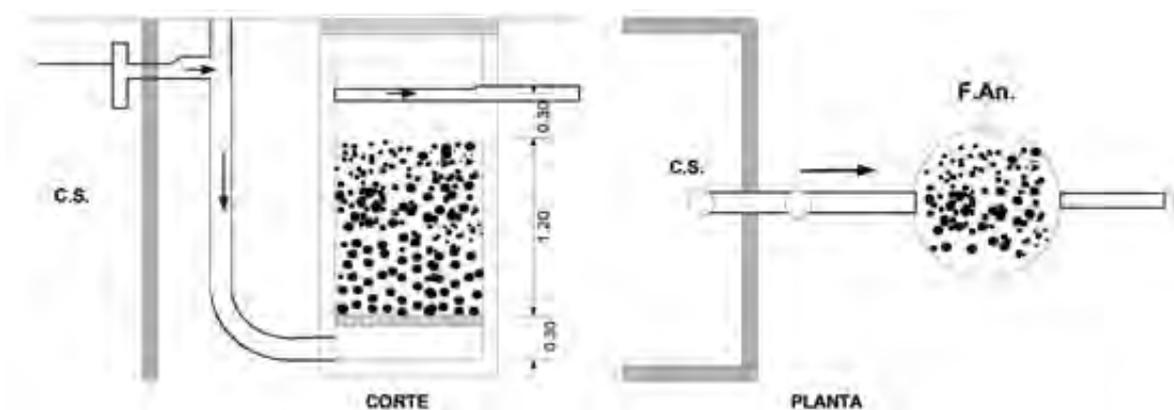


Fig. 2. Filtro anaerobio independiente.

Como material filtrante se emplea grava, piedra de canto rodado, ladrillo triturado y/o piedra partida, de 12 – 55 mm de diámetro. Idealmente, el material filtrante es equivalente a una superficie de sedimentación entre 90 – 300 m² por m³ de reactor. Gracias a esta gran superficie de sedimentación, se tiene un amplio contacto entre los sólidos suspendidos que atraviesan el filtro y la biomasa que se desarrolla en el mismo, degradando de esta manera la materia orgánica. Debido al flujo ascendente, las mayores tasas de remoción de materia orgánica se producen en los niveles más inferiores del lecho filtrante, lo cual facilita su lavado (cuando se invierte el flujo en el sentido de la gravedad).

En su generalidad y dependiendo del tamaño de las localidades, los FAn se diseñan de forma rectangular o cuadrada, en caso de instalaciones de tipo familiar o comunal se emplean las de sección circular.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los FAn se emplean como tratamiento secundario de las aguas negras y/o grises que provienen de una unidad de sedimentación. Son eficientes en cuanto a la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos (50% – 80%), dependiendo del grado de tratamiento logrado, sus efluentes pueden ser utilizados para el riego subsuperficial de jardines y el riego agrícola. De acuerdo al uso o disposición final del efluente, los FAn pueden requerir de un tratamiento posterior.

Esta tecnología es fácilmente adaptable y aplicable a nivel residencial o a nivel comunitario/villa/barrio, por lo que puede ser empleado para la depuración de las aguas residuales de una vivienda o grupo de viviendas. Para su funcionamiento requiere de un flujo continuo y constante, por lo cual se recomienda en instalaciones grandes. Un FAn requiere de un tiempo de puesta en marcha entre seis a nueve meses, necesario para el desarrollo de la biomasa, por lo cual su puesta en funcionamiento no es de manera inmediata.

Los FAn son sensibles en su rendimiento a los cambios de temperatura, son más apropiados en zonas con temperaturas medias superiores a los 15° C, que corresponde a la región de los Valles y Llanos. En zonas frías, como el Altiplano (temperatura media igual a 11° C), su aplicación deberá ser realizada después de un estudio exhaustivo y considerando los riesgos de tener bajos rendimientos y generación de malos olores.

CRITERIOS DE DISEÑO

El FAn debe ser empleado como parte de un sistema de tratamiento secundario, debiendo incluir, como unidad de pretratamiento, una unidad de sedimentación, tipo tanque séptico/Imhoff. Fig. 3.

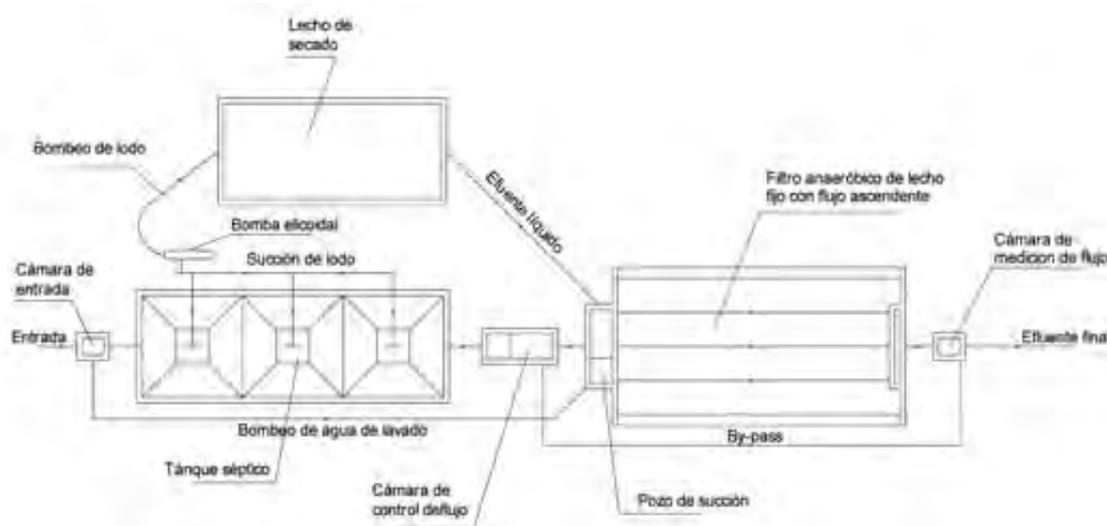


Fig. 3. Esquema básico. Planta de tratamiento con filtros anaerobios

El parámetro de diseño más importante a considerar es el tiempo de retención hidráulico (TRH) que influye en el rendimiento de los FAn, un periodo de retención de 0.70 – 1.5 días es el que se recomienda en la literatura especializada.

Adicionalmente, el sistema de tratamiento consta de un lecho de secado para los lodos provenientes tanto del pretratamiento como los correspondientes al FAn.

La Tabla 1; nos indica los valores guía típicos de diseño.

Tabla 1. Filtros anaerobios de flujo ascendente. Guías de diseño

Parámetros	Valores Guía
Características generales	
Tiempo de retención hidráulico (TRH)	0,5 – 1,5 días
Carga superficial	≤ 2,8 m/d
Altura del lecho filtrante	≥ 1,0 m
Diámetro de material filtrante: grava, ladrillo triturado, etc.	12 – 55 mm
Número de capas de material filtrante	2 – 3 capas
Eficiencias de Remoción	
Remoción de DBO	50 – 80 %
Remoción de Sólidos Suspendidos Totales	50 – 80%
Remoción de Nitrógeno total	≤ 15 %
Remoción de bacterias coliformes	≤ 1 – 2 Log.

Aunque los F.An son capaces de remover entre el 50 % y 80%, de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la reducción de patógenos es baja (una a dos unidades logarítmicas), requiriendo un tratamiento posterior para su reuso en la agricultura. La depuración de Nitrógeno es limitada y no supera el 15%. En general la eficiencia del filtro esta relacionada con la temperatura, a mayor temperatura mejor eficiencia.

Tabla 2. Diseño de filtros anaerobios. Superficies del filtro.

Caudal de diseño (L/s)	Volumen del reactor (m ³)	Área del filtro (m ²)
0,10	12,94	10,78
0,15	19,46	12,98
0,20	25,88	17,25
0,30	38,93	25,95
0,40	51,80	34,53
0,50	64,85	43,23
0,60	77,74	51,83
0,70	90,68	60,45
0,80	103,73	69,15
0,90	116,66	77,78
1,00	129,56	86,37
1,50	194,40	129,60
2,00	259,20	172,80
2,50	324,00	216,00
3,00	388,80	259,20
3,50	453,65	302,43
4,00	518,40	345,60
4,50	583,20	388,80
5,00	648,00	432,00

La Tabla 2, muestra valores del área necesaria para filtros anaerobios en función al caudal diario. La tabla ha sido calculada para tiempos de retención de 1,5 días, altura del lecho filtrante de 1,5 m, agua sobrenadante de 0,30 m y un borde libre de 0,30m, alcanzando una altura total del filtro de 2,10 m. La carga hidráulica superficial que se logra es de 1 m³/m²/d.

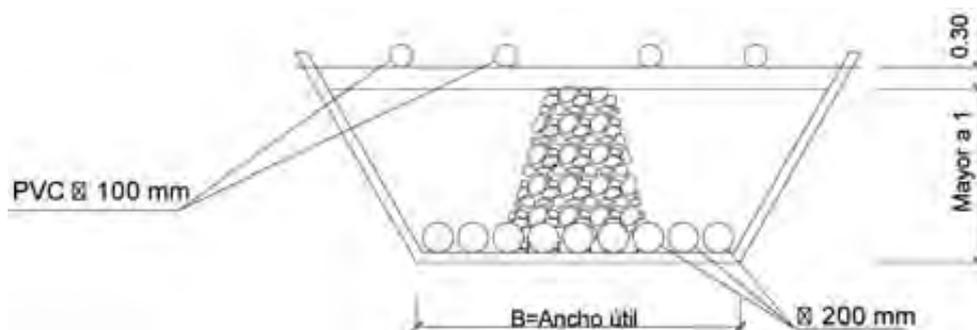
La Tabla 3, indica las áreas de los filtros anaerobios para viviendas de cuatro a 20 personas. Los valores han sido calculados para una dotación de 100 /L/hab/d, tiempos de retención de 1,5 días, una altura del lecho filtrante de 1,2 m, alcanzando una carga superficial de 0,80 m³/m²/d. Las alturas del agua sobrenadante y el borde libre se mantienen en 0,30 m, llegando a una altura total del filtro de 1,80 m.

Tabla 3. Diseño de filtros anaerobios. Superficies del filtro.

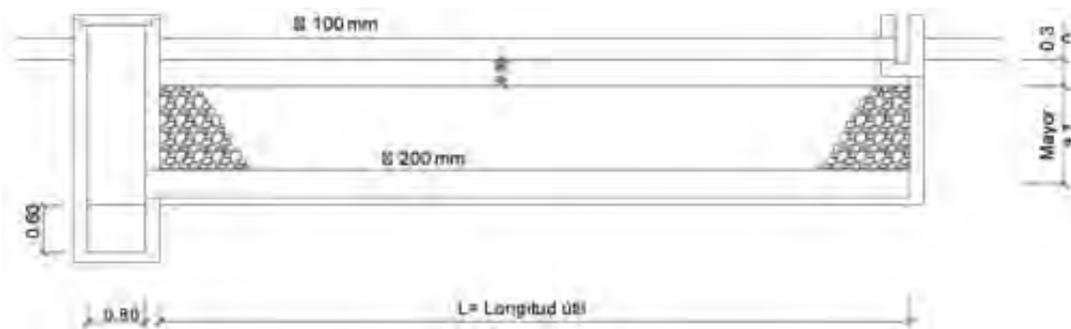
No Personas	Consumo diario (m3/d)	Caudal de diseño (L/s)	Volumen del reactor (m3)	Área del filtro (m2)
4,00	0,40	0,01	0,90	0,75
5,00	0,50	0,01	1,13	0,94
6,00	0,60	0,01	1,35	1,13
7,00	0,70	0,01	1,58	1,31
8,00	0,80	0,01	1,80	1,50
9,00	0,90	0,02	2,03	1,69
10,00	1,00	0,02	2,25	1,88
12,00	1,20	0,02	2,70	2,25
15,00	1,50	0,03	3,38	2,81
16,00	1,60	0,03	3,60	3,00
18,00	1,80	0,03	4,05	3,38
20,00	2,00	0,03	4,50	3,75
25,00	2,50	0,04	5,63	4,69
30,00	3,00	0,05	6,75	5,63
35,00	3,50	0,06	7,88	6,56
40,00	4,00	0,07	9,00	7,50
45,00	4,50	0,08	10,13	8,44
50,00	5,00	0,09	11,25	9,38

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

El filtro anaeróbico debe ser construido de manera de garantizar su impermeabilidad y estabilidad estructural. El material a emplearse puede ser de hormigón armado, hormigón ciclópeo, mampostería de ladrillo, ferrocemento. En general se recomienda una estructura de hormigón armado manteniendo un espesor mínimo de paredes y piso de 200 mm. Se construyen como unidades cerradas (a continuación de las cámaras sépticas) o como estructuras abiertas, donde las cámaras sépticas son una etapa de tratamiento preliminar destinada a la remoción de sólidos suspendidos, ver Fig. 4.



a) Corte transversal.



b) Corte longitudinal.

Fig. 4 Detalles. Filtro anaerobio.

El fondo falso, por donde ingresa el flujo de aguas residuales al FAn, puede ser construido de varios materiales; el sistema más sencillo consiste en la colocación de una red de tuberías perforadas – un principal y colectores - de PVC o asbesto cemento. La recolección de las aguas tratadas se puede realizar mediante la instalación de canales - de sección circular o cuadrada – o tuberías perforadas, que deberán instalarse a 300 mm del nivel superior del lecho filtrante. No es recomendable el diseño de FAn en áreas donde el nivel freático es elevado o donde se presentan frecuentes inundaciones.

Dependiendo de la disponibilidad de terreno y de la gradiente hidráulica de la tubería de alimentación, el FAn puede ser construido por encima o por debajo del nivel del suelo, siendo esta última solución la más recomendable, como una medida de protección contra las bajas temperaturas. En caso de tener FAn cerrados o herméticos es importante garantizar accesos de ingreso y salida (600 X 600 mm) a objeto de garantizar las tareas de limpieza así como de prever la evacuación y ventilación de los gases inflamables (metano) y malos olores resultantes de la digestión anaerobia.

Para el caso de FAn de tamaño medio a grande, se deberá considerar una cámara de distribución o regulación de caudal (Ver Fig. 3.) de modo que permita la distribución uniforme del caudal de ingreso al filtro o los filtros.

El efluente del filtro anaerobio puede ser descargado a un campo de infiltración, a un curso de agua o ser aprovechado para riego de jardines o riego agrícola controlado. Dependiendo de su disposición o uso final, podrá requerir un tratamiento terciario para la reducción de microorganismos patógenos y/o remoción de nutrientes (N, P).

La selección del material filtrante debe realizarse con tamices especiales y de acuerdo a la granulometría especificada. La colocación se realiza empezando con el de mayor diámetro en la parte inferior y concluyendo con el diámetro más pequeño en la parte superior.

Los costos de un FAn, dependen del material de construcción y del tamaño del filtro. Para obtener un cálculo aproximado se incluye la Tabla 4, desarrollada en base al modelo de costos para filtros gruesos ascendentes desarrollado por el CINARA (Filtración en Múltiples Etapas) aplicados al tratamiento de agua potable. La tabla se ha elaborado considerando la alternativa de construcción con hormigón armado.

Tabla 4. Filtros anaerobios. Costos directos de construcción (US\$)

Componente	Caudal (L/s)				
	0.5	1	5	10	20
Tanque Séptico	1 758	2 610	3 875	9 697	14 396
Filtro Anaerobio	1 742	2 930	4 928	16 477	27 710

Los costos directos incluyen los ítems de excavación, hormigón armado y la provisión y colocación de material filtrante.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La operación de un filtro anaerobio a plena capacidad se inicia después de un proceso de maduración del filtro que puede durar entre seis a nueve meses, periodo en el cual el caudal de ingreso debe ir gradualmente en aumento hasta alcanzar su capacidad plena al final del periodo de maduración del filtro.

Resultado del proceso de depuración, los sólidos en suspensión removidos llegarán a colmatar los poros del material filtrante, asimismo, la biomasa de bacterias aumenta en espesor llegando a obstruir los poros. En estas circunstancias y cuando la eficiencia del filtro disminuye se debe proceder con la limpieza del mismo, para lo cual se revierte el sentido del flujo, generando un caudal descendente que retira todo el material en exceso. El material resultante de la mezcla de agua y sólidos drenados, deben retornar al tanque séptico para su remoción y posterior disposición en un lecho de secado. Solo en casos excepcionales, como un mal mantenimiento del sistema, se tendrá que realizar el lavado del lecho filtrante in situ, para lo cual el diseño deberá considerar incluir un by pass. Es importante, para la buena eficiencia del FAn, que la mayor parte de los sólidos sedimentables sean retenidos en la unidad de sedimentación, caso contrario, el reactor será fácilmente colmatado impidiendo su correcta operación debido a la obstrucción del material filtrante. Otro problema que se debe controlar, es la generación de gases inflamables y olores desagradables, que deben ser controlados a objeto de evitar problemas con los usuarios del servicio y viviendas circunvecinas.

La Tabla 4, detalla las tareas más principales de operación y mantenimiento que se requieren para un buen funcionamiento del sistema.

Tabla 4. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones claves
Medición y control del caudal	Controlar el nivel de agua en la regla de aforo ubicada en la cámara de regulación.
Medición de lodos	Controlar el nivel de lodos almacenados en el tanque séptico.
Retiro de material flotante	Retirar el material sólido flotante en el filtro.
Medición de la pérdida de carga en el filtro	Medir el nivel de agua en la cámara de regulación del filtro.

Lavado del material filtrante	Lavar el filtro cuando el nivel del agua corresponda a la cámara de filtración esperada.
Medición de la DBO	Medir la carga orgánica en el efluente del filtro al menos una a dos veces por año o cuando se observe un deterioro evidente de la calidad del efluente.
Retiro y secado de lodos	Retirar los lodos de la cámara séptica y disponer los mismos en el lecho de secado.

Tomando en cuenta las condiciones que exigen su operación y mantenimiento, como el retiro y limpieza de lodos, regulación de caudal, etc. su aplicación debe ir acompañada de una buena capacitación institucional que permita garantizar el correcto funcionamiento de estos sistemas de tratamiento.

RESUMEN DE RIESGOS

Los eventos asociados al tratamiento de aguas residuales con filtros anaerobios que tienen mayor nivel de riesgo son los de origen microbiológico. La Tabla 5, nos muestra un resumen de los principales riesgos asociados.

Tabla 5. Tabla de riesgos

Evento	Peligro asociado	Causa	Medidas preventivas
Descarga directa de aguas residuales al medio ambiente (suelo, cuerpos de agua)	Contaminación microbiológica y fisicoquímica de cuerpos de agua, suelo, acuíferos.	Carencia de un tratamiento terciario de tratamiento de aguas residuales o baja capacidad de dilución del cuerpo de agua.	Diseño del tratamiento terciario: lagunas de maduración, desinfección ultravioleta, campos de infiltración.
Reuso directo de efluentes en la agricultura.	Contaminación microbiológica de cultivos.	Reuso de efluentes sin tratamiento terciario y sin control sanitario.	Diseño del tratamiento terciario en función a tipo de cultivo aplicado.
Presencia de gases dañinos y malos olores.	Rechazo de la comunidad.	Carencia de operación y mantenimiento adecuados, bajas temperaturas, funcionamiento discontinuo.	Desarrollar programas de fortalecimiento institucional y de educación, información y comunicación. Aplicación de otras opciones tecnológicas.
Inundación de instalaciones.	Contaminación ambiental, suspensión del servicio, deterioro, destrucción de las instalaciones.	Diseño en zonas de inundación sin considerar los riesgos asociados al cambio climático.	Analizar la vulnerabilidad del sistema ante situaciones de desastres naturales y los efectos del Cambio Climático.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas	Desventajas
<p>Aplicable preferentemente en zonas de temperatura media superior a los 15° C.</p> <p>Flexibilidad ante condiciones de alta variabilidad de caudales y de carga orgánica.</p> <p>No se requiere de equipamientos mecanizados ni energía eléctrica. Son estructuras simples.</p> <p>Emplea materiales locales tanto para la construcción como para su operación y mantenimiento.</p> <p>Periodo de servicio prologado (10 – 20 años).</p> <p>Costos relativamente bajos de O&M dependiendo del numero de usuarios y la capacidad institucional del prestador del servicio.</p> <p>Elevados porcentajes de remoción de materia orgánica (DBO) y sólidos suspendidos (SST).</p>	<p>Bajo rendimiento en zonas frías. No es recomendable su empleo en zonas con temperaturas medias inferiores a los 15° C.</p> <p>Baja remoción de microorganismos patógenos y nutrientes (N, P).</p> <p>Requiere un funcionamiento continuo del sistema, caudales permanentes.</p> <p>Requiere de un tiempo de puesta en operación prolongado (seis a nueve meses).</p> <p>Requiere de un programa de O&M específico y continuo.</p> <p>El efluente requiere de un tratamiento terciario de acuerdo a su destino, tipo de reuso o disposición final.</p> <p>Requiere procesos constructivos especializados.</p>

Referencias

Tilley, Elizabeth et al, 2008. Compendium of Sanitation Systems and Technologies. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland.

D.1 Humedales artificiales de flujo superficial		Aplicable a: sistema 7-8-9	D 1
Nivel de empleo <input type="checkbox"/> Rural disperso <input checked="" type="checkbox"/> Rural concentrado <input checked="" type="checkbox"/> Peri-urbano	Nivel de administración <input checked="" type="checkbox"/> Familia <input checked="" type="checkbox"/> CAPY <input checked="" type="checkbox"/> EPSA	Entrada producto: <input checked="" type="checkbox"/> Aguas pretratadas negras y/o grises	
		Salida del producto: <input checked="" type="checkbox"/> Aguas residuales tratadas	
Aplicable a zona: <input checked="" type="checkbox"/> Altiplano <input checked="" type="checkbox"/> Valles <input checked="" type="checkbox"/> Llanos			

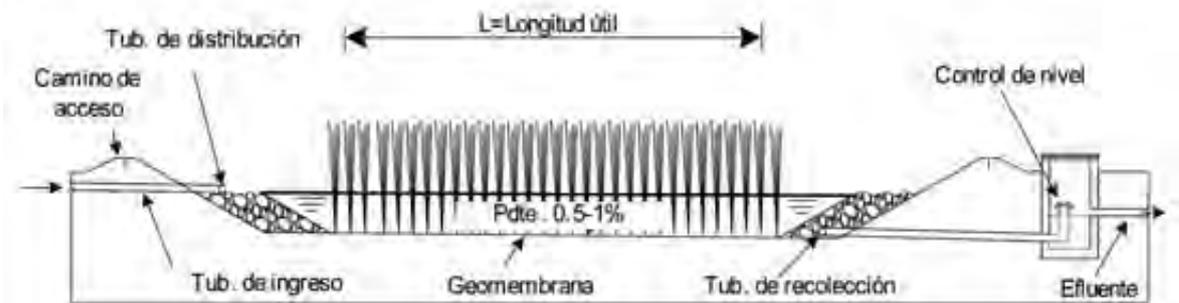


Fig. 1. Humedal artificial de flujo superficial.

DESCRIPCIÓN

El Humedal Artificial de Flujo Superficial (HAFS) es un sistema de tratamiento de aguas residuales que consiste en una serie de canales o estanques artificiales de poca profundidad (menor a 1.00 m) en los cuales se desarrollan plantas acuáticas (macrófitas) y se producen procesos naturales microbiológicos, biológicos, físicos y químicos que depuran las aguas residuales, ver Fig. 1.

Los humedales artificiales de flujo superficial (HAFS) se caracterizan por la alta densidad de plantas acuáticas nativas (juncos, canas huecas, totora, Jacinto, etc.) que se cultivan en los canales y por los cuales el agua fluye a poca profundidad, facilitando el contacto con la atmósfera y la luz solar, removiendo en su trayecto las partículas en suspensión, estabilizando la materia orgánica y destruyendo los organismos patógenos. Son sistemas complejos que separan y transforman los contaminantes presentes en las aguas residuales mediante mecanismos físicos, químicos y biológicos que pueden ocurrir simultáneamente o en forma secuencial conforme las aguas residuales circulan en el sistema

Las partículas más pesadas se sedimentan arrastrando consigo los nutrientes que están fijos en las partículas. Por otro lado, las plantas acuáticas y los microorganismos presentes en los humedales asimilan en su estructura otros nutrientes como el nitrógeno y fósforo. Dependiendo de la composición de las aguas residuales, otras reacciones químicas pueden generar la remoción de otros elementos presentes en las aguas residuales (metales pesados).

La remoción de microorganismos patógenos en los HAFS se produce: i) por un proceso natural de decaimiento de los mismos y la depredación de organismos superiores (protozoarios), ii) la sedimentación de las partículas en suspensión y iii) la radiación ultravioleta de la luz solar. Aunque el fondo del canal está constituido por una capa de suelo en estado anaeróbico, las raíces de las plantas acuáticas

exudan oxígeno en la zona que rodea a las raíces, creando así un entorno favorable para la actividad biológica y química.

Se emplean generalmente para el tratamiento secundario de aguas residuales de origen doméstico provenientes de tanques sépticos, tratamientos primarios y efluentes de lagunas de oxidación. Tienen por objetivo mejorar la calidad del efluente final y obtener mejores parámetros de calidad en la remoción de contaminantes. Son particularmente eficientes en la remoción de sólidos suspendidos, materia orgánica, microorganismos patógenos y en algunos casos nutrientes (Nitrógenos Total) y metales pesados (Ver valores en Tabla 1).

Los dos mayores mecanismos de purificación que se desarrollan en un HAFS consisten en la separación o decantación líquido - sólido y la estabilización de los diferentes constituyentes de las aguas residuales. Los procesos físicos de separación líquido – sólido incluyen los fenómenos naturales gravitacionales de sedimentación de las partículas discretas y floculentas (floculación natural) así como la filtración, interceptación y adhesión de las partículas suspendidas en la superficie de las plantas acuáticas, formando una biopelícula alrededor de las mismas. Los procesos de estabilización incluyen los mecanismos de mineralización o gasificación de la materia orgánica y la producción de biomasa en condiciones aerobias o anaerobias.

Ambos procesos, aerobio y anaerobio, tienen lugar en un HAFS en presencia de la energía solar que genera la fotosíntesis en las plantas, a raíz de la cual el CO₂ inorgánico presente en el medio acuático es sintetizado para la producción de la biomasa acuática liberando oxígeno libre que es requerido por los microorganismos que se encuentran en las aguas residuales. De este modo tanto el oxígeno como la materia orgánica se encuentran presentes en el mismo sistema.

Tabla 1. Valores típicos de aguas residuales que ingresan a humedales artificiales*

Constituyente (mg/L)	Tanque séptico ¹	Tratamiento primario ²	Lagunas de oxidación ³
DBO	129 - 147	40 - 200	11 - 35
DQO	310 - 344	90 - 400	60 - 100
STS	44 - 54	55 - 230	20 - 80
NT	41 - 49	20 - 85	8 - 22
NH ₃	28 - 34	15 - 40	0.6 - 16
NO ₃	0.00 - 0.9	0	0.1 - 0.8
PT	12 - 14	4 - 15	2 - 3
Coli Fecal (log/100 mL)	5.4 - 6.0	5.0 - 7.0	0.8 - 5.6

*Fuente EPA 2000

1 y 3 EPA

2 Metcalf & Eddy.

Ecosistema Suka Kollu

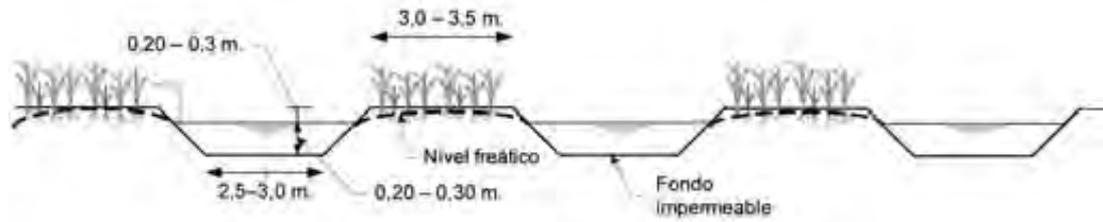


Fig. 2. Sistema Suka Kollu

La tecnología de los Suka Kollus (Fig. 2.) fue empleada en la Zona Andina de Bolivia durante la época precolombina, aprovechando las aguas de inundación de lago Titicaca durante la época de lluvias. Consisten en canales intercalados con terraplenes (camellones) donde se cultivan papa, haba y otros cultivos locales. Las plantas acuáticas capturan el agua del nivel freático que es recargado por los canales artificiales. Al contar con un almacenamiento artificial de agua, se crea un microclima con temperaturas superiores en 1 - 3 ° C con relación a la temperatura ambiente, mejorando las condiciones para mejorar la productividad de los cultivos.

Esta tecnología ancestral se puede adaptar al concepto de humedales artificiales de flujo superficial, utilizando las aguas residuales domesticas que se descargan en los canales donde son tratadas a través de los procesos naturales que se desarrollan en los HAFS. Las aguas residuales contienen nutrientes como P, K, N, que serían aprovechados por los cultivos en forma continua. La aplicación de esta tecnología tendría la ventaja de disponer de agua permanente para el riego y de facilitar las tareas de OyM por el uso productivo de las aguas residuales. Es mas recomendable su aplicación en zonas semiáridas, Altiplano y Valles donde existe escasas del recurso hídrico.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

La Fig. 3 muestra un esquema de una aplicación típica de los HAFS. La Tabla 2 nos muestra los potenciales usos y la remoción de contaminantes que se produce en todo el sistema. Se aplican tanto al tratamiento de aguas negras y/o grises.

Tabla 2. Principales aplicaciones de humedales para la purificación de aguas residuales

Objetivo	Remoción de componente
Tratamiento secundario	Materia orgánica (DBO), sólidos totales y microorganismos patógenos
Reuso de aguas residuales	Materia orgánica (DBO), sólidos totales y microorganismos patógenos de acuerdo a estándares de calidad (por ejem. Turbidez ≤ 2 UNT, SS ≤ 5 mg/L; coliformes totales ≤ 2.2 organismos/100mL)
Infiltración de aguas residuales	Materia orgánica
Tratamiento avanzado	Nitrógeno y fósforo
Tratamiento avanzado	Metales pesados
Tratamiento de aguas pluviales	Materia orgánica, sólidos totales, microorganismos patógenos, nitrógeno, fósforo, metales pesados y orgánicos.
Desarrollo del hábitat	Mejoramiento de los recursos naturales
Tratamiento de lodos sépticos	Materia orgánica (DBO), sólidos totales y microorganismos patógenos, nitrógeno y fósforo

Fuente: Crites & Chobanoglous

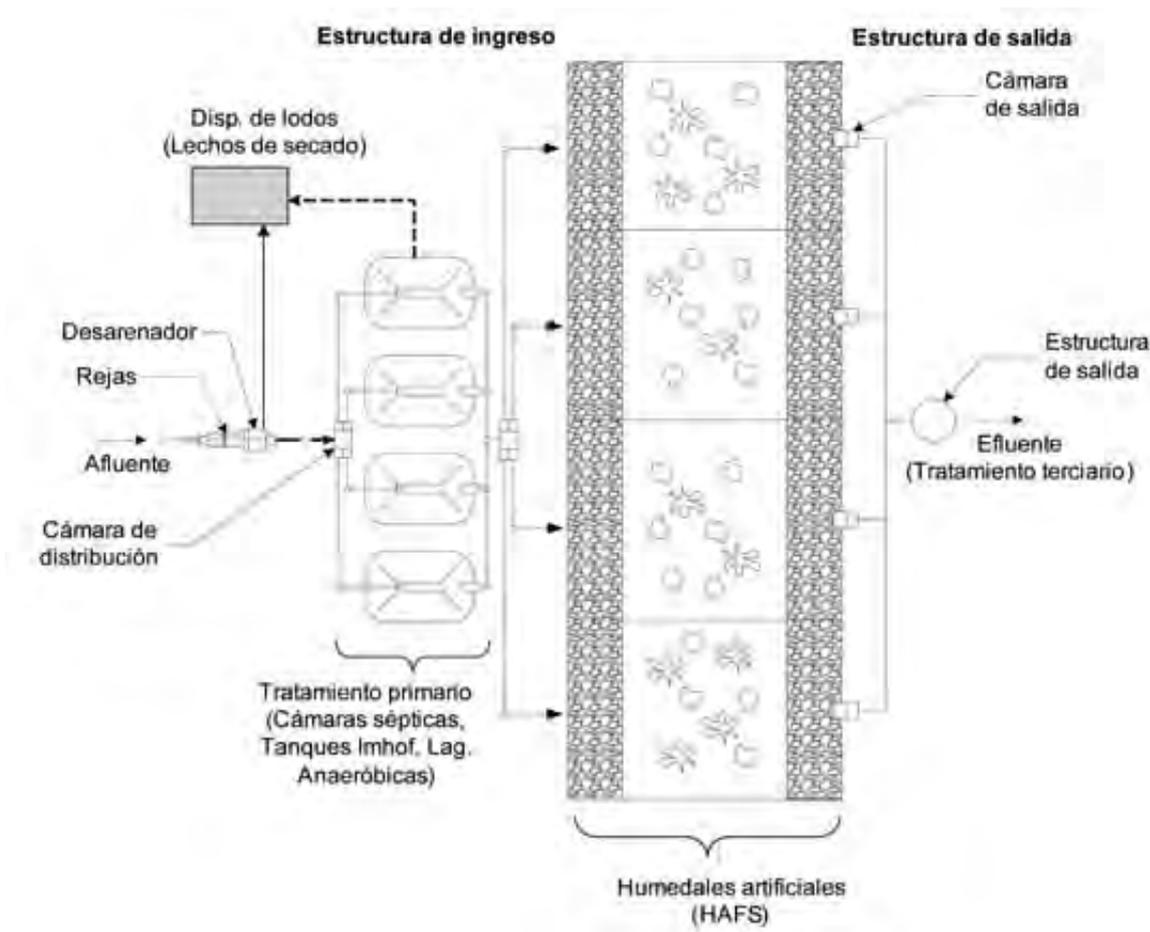
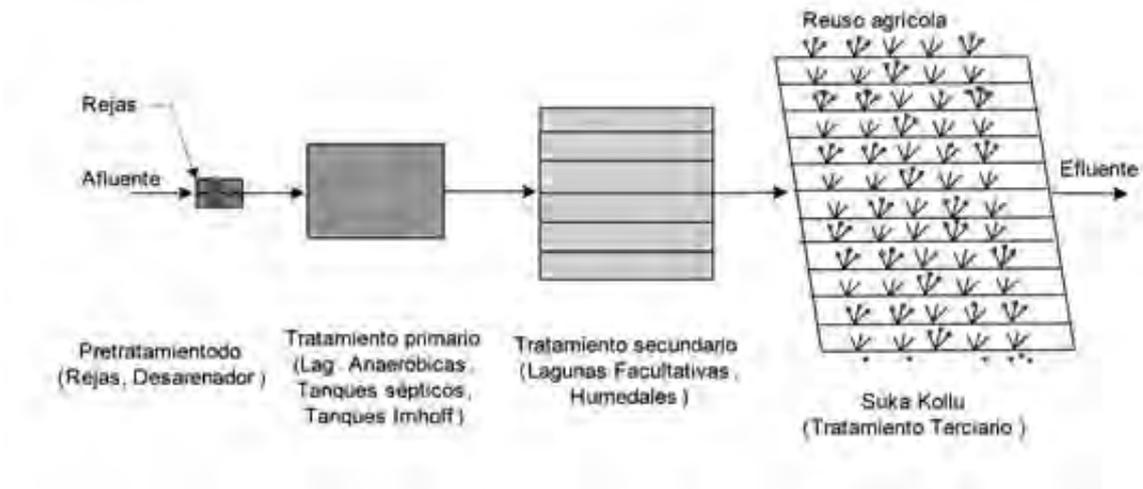


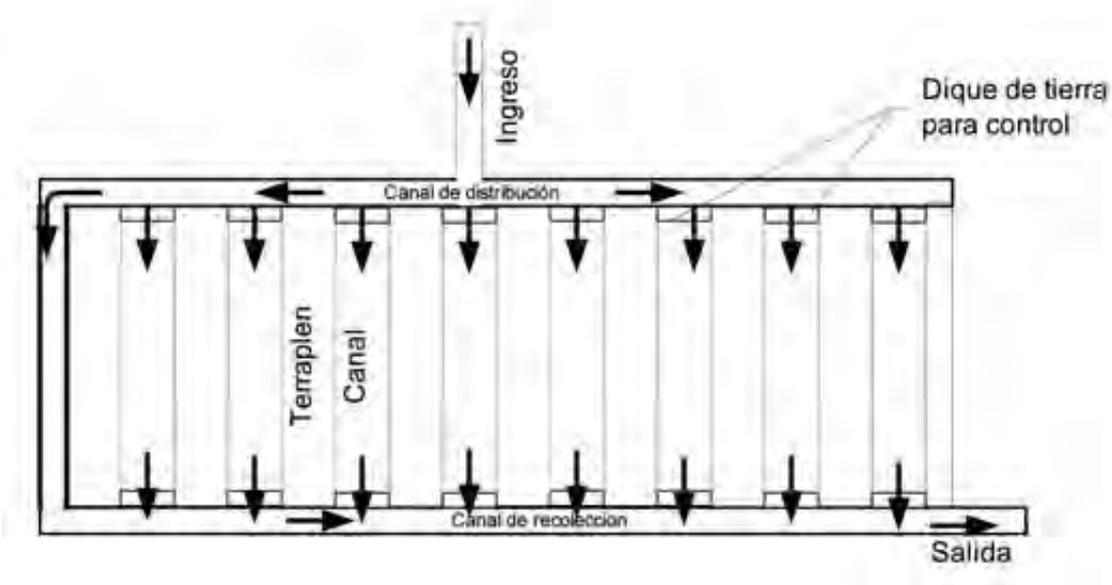
Fig. 3. Tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales de flujo superficial

Los HAFS pueden lograr elevados niveles de remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica, así como una moderada remoción de microorganismos patógenos, nutrientes y otros contaminantes (metales pesados). La sombra que es proyectada por las plantas acuáticas y la limitación del efecto del viento en la mezcla o agitación de la superficie libre del agua, limitan la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, por lo cual estos sistemas son apropiados para el tratamiento de aguas de baja concentración de materia orgánica.

Dependiendo del volumen de las aguas residuales, que impacta en el tamaño de los HAFS, los humedales pueden ser apropiados para sistemas descentralizados a nivel domiciliario (individual o colectivo) en zonas urbanas – periurbanas y comunidades rurales. Los Suka Kollus pueden ser empleados como un tratamiento terciario y ser aplicados en el riego agrícola, duplicando de este modo las superficies cultivables. La Fig. 4. muestra un esquema de una planta de tratamiento con aplicación de Suka Kollus.



a) Planta de tratamiento con Suka Kollu



b) Detalle de ingreso Suka Kollu

Fig. 4. Sistema Suka Kollu

CRITERIOS DE DISEÑO

Los aspectos más importantes a considerar en el diseño de humedales de flujo superficial son el tiempo de retención hidráulico, la carga orgánica superficial y la profundidad del agua sobrenadante. Otros aspectos a tomar en cuenta están relacionados con la relación largo / ancho del humedal, consideraciones hidráulicas de las estructuras de ingreso y/o salida y las condiciones de operación y mantenimiento.

Tabla 3. Humedales artificiales de flujo superficial. Guías de diseño*

Parámetros	Valores Guía
Características Generales	
Tiempo de retención hidráulico	2.0 – 5 días, remoción de (DBO)
	7 – 14 días, remoción de Nitrógeno
Pretratamiento	Tanques sépticos / Imhoff, lagunas de oxidación
Carga orgánica aplicable (DBO ₅)	
	Para DBO ₅ residual de 30 mg/L aplicar una carga superficial de 40 kg DBO ₅ / ha. d
Carga máxima superficial (SS)	
	Para SS residual de 30 mg/L aplicar una carga superficial de 30 kg / ha. d
Relación de vacíos del lecho vegetal	0,75
Profundidad de la columna de agua	0,60 – 0,90 m
Relación Geométrica (largo/ancho)	2:1 – 4:1
Plantas acuáticas	Macrófitas: Totorá, Jacintos, Carrizo, Juncos, etc.
Eficiencias de Remoción**	
DBO del efluente	< 20 mg/L
Sólidos suspendidos del efluente	< 20 mg/L
Nitrógeno total, efluente	< 10 mg/L
Fósforo total, efluente	< 5 mg/L
Coliformes Fecales	1 – 3 Unid. Log.

*Adaptado: Crites & Tchobanoglous, EPA 2000.

** Para cargas orgánicas ≤ 110 kg DBO/ha.d y tratamiento de efluentes municipales con tratamiento primario.

La Tabla 3 indica los valores guía de diseño que se recomiendan. La determinación del área del humedal se lo hará tomando en cuenta los criterios de remoción de carga orgánica y/o sólidos suspendidos.

En zonas áridas donde la evaporación excede la precipitación, se debe realizar un balance hídrico en base a información y estudios hidrológicos. En estos casos es necesario establecer los efectos de la evaporación en los tiempos de retención y la calidad de los efluentes. En pequeñas comunidades es recomendable la construcción de HAFS en serie a objeto de obtener efluentes de buena calidad.

Dependiendo la región, Altiplano, Valles y Llanos, se recomienda la implementación de proyectos demostrativos que permitan ajustar los parámetros de diseño en función de las diferentes variables (temperatura, carga orgánica, altitud, radiación solar, etc.).

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

La construcción de HAFS debe tomar especial cuidado en los siguientes aspectos:

Bermas o terraplenes de contención

La construcción de las bermas y/o terraplenes de contención de las aguas contenida en los humedales debe realizarse de modo que se garantice su impermeabilidad y limite las pérdidas de agua. Para lograr la impermeabilidad de las paredes se pueden emplear materiales como la arcilla y/o geomembranas.

Para facilitar las tareas de drenaje de los estanques, se debe mantener una pendiente no mayor al 1% en el fondo de los mismos. En caso de presentarse canales o estanques de gran longitud, se deberá dividir la superficie requerida en dos o más celdas independientes.

Los diques o terraplenes deben mantener un borde libre de 0.60 – 1.00 m con un ancho de mínimo de 3.00 m, en el borde superior, para permitir el acceso de movilidades (ver Fig.5). Es recomendable que la pendiente de las bermas o terraplenes no deba ser superior a una relación de 2:1 - 3:1.

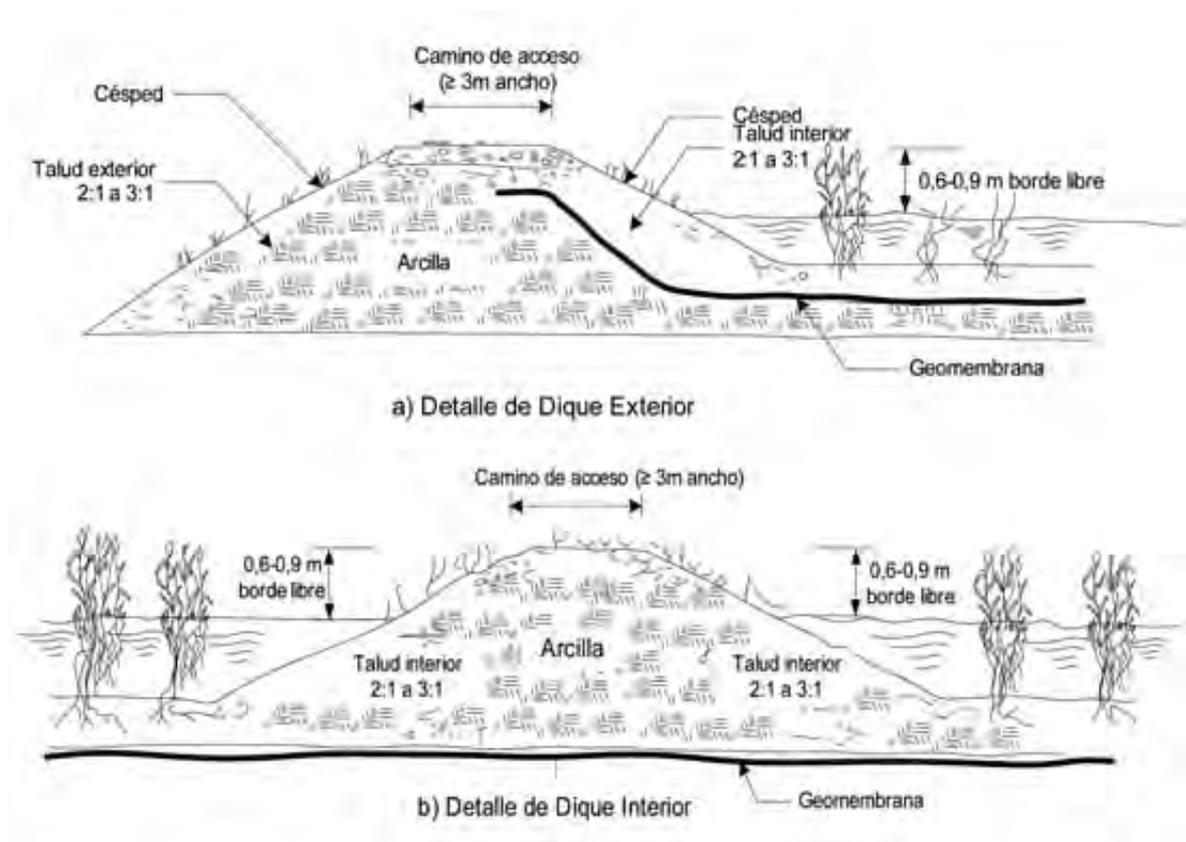


Fig. 5. HAFS. Detalle de taludes

Entre los materiales sintéticos más comúnmente empleados como impermeabilizantes tenemos al PVC, Polietileno, Polipropileno y otros similares. Como alternativa se puede emplear material arcilloso con un espesor mínimo de 0,30 m, debidamente compactado, que garantice una completa impermeabilidad de las superficies.

Estructuras de ingreso y salida de caudales

Se debe prever la construcción de estructuras de registro y control de caudales al ingreso de cada humedal. La eficacia de los humedales depende también de que se logre una distribución uniforme en las estructuras de entrada a los estanques. Las aguas residuales pueden ingresar al humedal utilizando vertederos o tuberías perforadas, ver Fig 6.

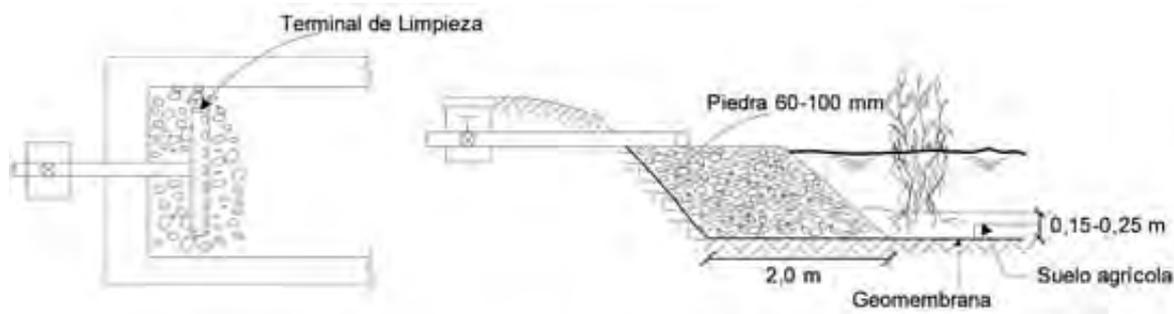


Fig. 6. HAFS. Detalle de ingreso

Las estructuras de salida deben garantizar el flujo libre del agua, evitando la colmatación con residuos y objetos sólidos. Asimismo, debe garantizar el flujo uniforme del humedal y controlar el nivel de salida del efluente, ver Fig 7.

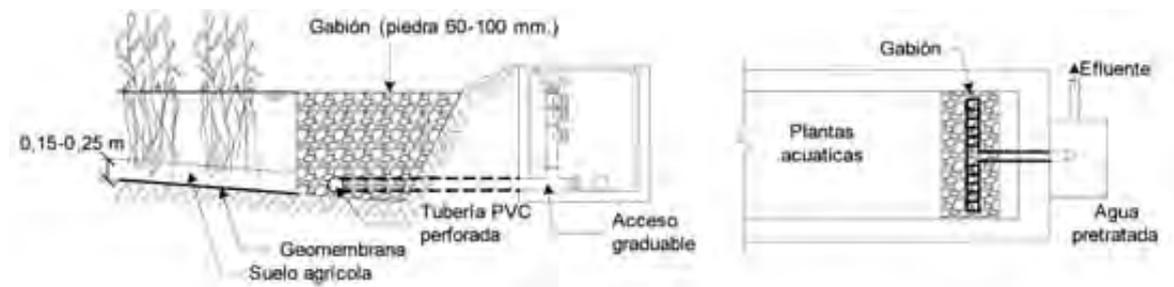


Fig. 7. HAFS. Detalle de salida

Características del suelo y plantas macrófitas

Se debe prever una capa de suelo, encima de la capa impermeable o geomembrana, de al menos 0.15 m de espesor para enraizar las plantas acuáticas emergentes. Las plantas acuáticas seleccionadas pertenecen al género de las macrófitas que son las más adaptadas a suelos saturados. Las especies más corrientes se muestran en la Tabla 4 siguiente:

Tabla 4. Plantas acuáticas emergentes utilizadas en humedales artificiales

Nombre Común	Nombre Científico	Temperatura deseable oC	Temperatura de germinación oC	Rango de ph	Máximo nivel de salinidad tolerable ppt
Junco	Scirpus spp	16 - 27	12 - 24	4 – 9	20
Totora, Junco	Typha latifolia	10 - 30	12 - 24	4 - 10	30
Arrowhead plant	Sagittaria latifolia				
Caña común	Phragmites australis	12 - 23	10 - 30	2 - 8	45
Juncos	Juncos spp.	16 - 26		5 – 7,5	20
Juncia, enea	Carex spp.	14 - 32		5 – 7,5	
Iris bardado, iris germánica	Iris pseudacorus				

Fuente: Crites & Tchobanoglous
Ppt: Partes por mil

En Bolivia, una de las macrófitas mas conocidas es la Totora (*Scirpus californicus*) que abunda en la zona del lago Titicaca y que ha sido empleada en la depuración de aguas residuales a nivel experimental en Cochabamba (Centro CASA de la Universidad Mayor de San Simón).

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Un regular mantenimiento debe asegurar la ausencia de corto circuitos o contra reflujos producidos por la presencia de ramas caídas, basura u objetos sólidos que pueden bloquear la estructura de salida del efluente.

La Tabla 5 indica las principales actividades que deben realizarse para una buena operación y mantenimiento de los HAFS.

Tabla 5. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Medición y control del caudal	Controlar el nivel de agua en la regla de aforo ubicada en la cámara de regulación.
Retiro de material flotante, ramas, plantas caídas, basura y objetos sólidos.	Limpieza del material sólido flotante de forma regular. Desobstrucción de las estructuras de ingreso y salida del humedal.
Medición de la pérdida de carga en el filtro	Medir el nivel de agua en la cámara de salida del humedal.
Verificación del estado de la verja o cerca de protección del humedal.	Mantenimiento y/o reposición de cerca, instalación de protección contra el ingreso de animales y/o personas extrañas.
Medición de la DBO5, SS, Coliformes totales.	Medir la carga orgánica, SS, Colif. Fecales, en el efluente del humedal al menos una a dos veces por año o cuando se observe un deterioro evidente de la calidad del mismo.

RESUMEN DE RIESGOS

Los humedales de flujo superficial pueden ser un medio de cultivo potencial para el desarrollo de mosquitos, sin embargo, un buen diseño y mantenimiento puede prevenir la crianza y propagación de los mismos. En general los HAFS se integran muy bien en espacios naturales ya existentes, mejorando la calidad del medio ambiente. La Tabla 6 detalla los riesgos asociados que deben tenerse en cuenta para el diseño de estos sistemas.

Tabla 6. Riesgos asociados. Humedales artificiales de flujo superficial

Evento	Peligro Asociado	Causa	Medidas Preventivas
Descarga directa de el efluente de los HAFS al medio ambiente (suelo, cuerpos de agua)	Contaminación microbiológica y fisicoquímica de cuerpos de agua y suelos.	Carencia de un tratamiento terciario de los efluentes o baja capacidad de dilución del cuerpo de agua.	Es necesario el diseño de un tratamiento terciario: lagunas de maduración, desinfección ultravioleta, campos de infiltración.
Reuso irrestricto de efluentes de un HAFS en la agricultura.	Contaminación microbiológica de cultivos.	Reuso de efluentes sin tratamiento terciario y sin control sanitario.	Reuso controlado en determinado tipo de cultivos de acuerdo a la calidad del efluente. Diseño de un tratamiento terciario, si es necesario, en función a tipo de cultivo aplicado.
Presencia de mosquitos y vectores.	Rechazo de la comunidad.	Carencia de operación y mantenimiento adecuados, bajas temperaturas, funcionamiento discontinuo.	Desarrollar programas de fortalecimiento institucional y de educación, información y comunicación a la población.
Inundación de instalaciones.	Contaminación ambiental, suspensión del servicio, deterioro, destrucción de las instalaciones.	Diseño en zonas de inundación sin considerar los riesgos asociados al cambio climático y/o desastres naturales.	Analizar la vulnerabilidad del sistema ante situaciones de desastres naturales y los efectos del Cambio Climático. Alejar la infraestructura de zonas inundables.
Contacto humano con los efluentes de los HAFS.	Contaminación microbiológica por contacto directo con las aguas residuales provenientes de los HFS.	Descarga directa al medio ambiente sin medir los riesgos asociados. Carencia de un tratamiento terciario.	Desarrollar programas de fortalecimiento institucional a la EPSA y de educación, información y comunicación a la población. Implementar medidas de mitigación de los impactos ambientales y reducción de la vulnerabilidad de los asentamientos humanos (desinfección, tratamiento terciario).
Acceso irrestricto a los humedales artificiales.	Riesgos de accidentes por ahogamiento y/o contaminación, por contacto directo con las aguas residuales de los HAFS.	Carencia de vigilancia y control de accesos. Carencia de verjas o cercas de protección.	Desarrollar programas de fortalecimiento institucional a la EPSA en establecer medidas de control y un plan de contingencia ante la ocurrencia de eventos imprevistos. Acceso controlado del público.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas	Desventajas
<p>Estéticamente agradable y proporciona un buen hábitat para el desarrollo de plantas acuáticas y otras especies.</p> <p>Elevada remoción de la DBO₅ y sólidos suspendidos, regular reducción de microorganismos patógenos.</p> <p>Buena remoción de metales pesados.</p> <p>Puede ser construido y reparado con materiales locales disponibles.</p> <p>No se requiere el empleo de equipos mecanizados ni energía eléctrica.</p>	<p>Puede facilitar la reproducción de mosquitos.</p> <p>Requiere de un largo tiempo para la puesta en operación a plena capacidad de la planta.</p> <p>Para localidades medianas y grandes, requiere de gran superficie de suelo.</p> <p>Costos de capital moderados, dependiendo del costo de la tierra y materiales locales.</p> <p>Problemas de mosquitos u olores si se los opera incorrectamente.</p>

Referencias

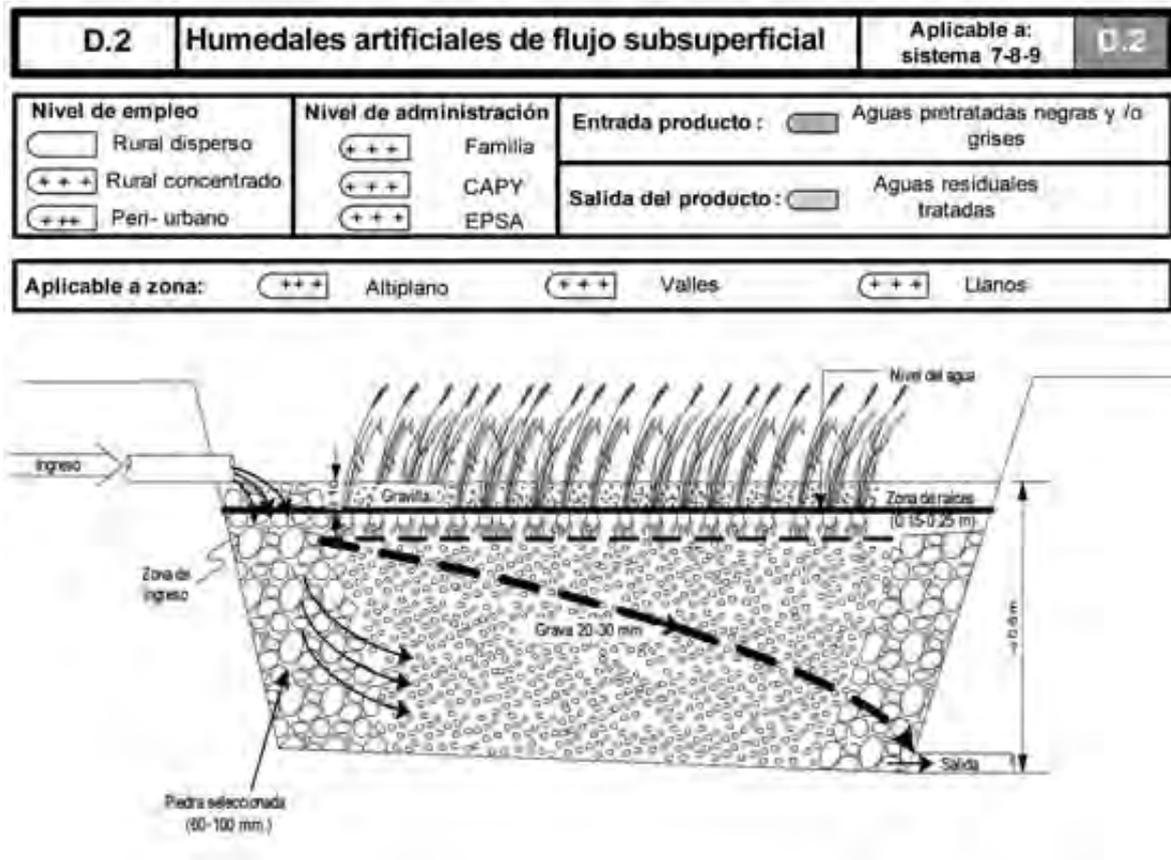
Tilley, Elizabeth et al, 2008. Compendium of Sanitation Systems and Technologies. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dubendorf, Switzerland.

EPA. Manual. Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. September 1999.

Centro Agua. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba 2010.

Melbourne Water. Design Guidelines for Developers. November 2005.

Crites – Tchobanoglous. Small and Decentralized Wastewater Management Systems. Mc Graw Hill 1998.



Fuente: Adaptado EPA - 2000

Fig. 1. Corte longitudinal. Humedal artificial de flujo subsuperficial

DESCRIPCIÓN

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial son un sistema de tratamiento de aguas residuales que consisten en estanques o canales de flujo horizontal que se rellenan con material grueso encima del cual se planta vegetación acuática (macrófitas) y donde se desarrollan fenómenos físicos, químicos y biológicos que separan y transforman los contaminantes presentes en las aguas residuales, ver Fig. 1. Funcionan como un filtro grueso de flujo horizontal.

El nivel del agua en un humedal artificial de flujo subsuperficial (HAFSS), es mantenido entre 5 a 10 cm, por debajo del nivel del material filtrante, a objeto de asegurar un flujo horizontal sumergido. El pretratamiento de las aguas residuales que ingresan al humedal es esencial para prevenir la colmatación del filtro grueso y asegurar un eficiente tratamiento.

Los HAFSS son eficientes en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos de aguas residuales que hayan sido tratadas previamente en tratamientos primarios. Los sistemas de HAFSS que tratan efluentes de lagunas de estabilización son susceptibles de resultar colmatados debido a que los sólidos suspendidos presentes son predominantemente algas, las cuales al atravesar el material filtrante se degradan más lentamente lo cual genera un proceso de obstrucción de los poros del filtro.

El medio filtrante actúa para dos propósitos, i) como un filtro grueso para remover los sólidos suspendidos en un substrato (material filtrante) donde se adhieren y desarrollan microorganismos formando una biomasa, y ii) como un sustento para las raíces de las plantas acuáticas. Aunque las bacterias facultativas y anaerobias degradan la mayor parte de la materia orgánica, las plantas acuáticas también transfieren pequeñas cantidades de oxígeno a la zona de las raíces, de modo que las bacterias aerobias puedan colonizarse y estabilizar la materia orgánica. Por otra parte, las raíces de las plantas juegan un rol muy importante para mantener la permeabilidad del filtro.

Cualquier planta con raíces ramificadas y profundas, que puede desarrollarse en un suelo saturado y rico en nutrientes, es apropiada para su empleo en un HAFSS. En Bolivia la Totorá y/o la caña común es la opción más accesible porque forman tallos subterráneos horizontales en forma de tubérculos rastreros (rizomas), que penetran toda la profundidad del filtro. La remoción de patógenos se produce por el proceso natural de decaimiento, la depredación por organismos superiores y por la sedimentación de sólidos presentes en las aguas residuales.

El humedal de flujo subsuperficial es relativamente eficiente en el tratamiento de las aguas residuales, remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos, a través del proceso de floculación, sedimentación y filtración / absorción de las partículas coloidales y la acción microbiológica que se desarrolla en la biomasa. La baja velocidad de flujo y el área superficial equivalente del material filtrante facilitan en gran manera la eficiencia del proceso de sedimentación. Los HAFSS funcionan como filtros horizontales de grava y por lo tanto son eficientes en la separación de sólidos suspendidos por i) sedimentación discreta y coloidal (acción de la gravedad), ii) cernido, retención/ filtración y absorción en la biomasa adherida al material grueso así como en las raíces de las plantas acuáticas. Los HAFSS funcionan mejor en la remoción de sólidos porque este es un mecanismo enteramente físico. La remoción de nitrógeno está limitada por el hecho de que el régimen de flujo en el filtro grueso es casi anaeróbico impidiendo la oxigenación necesaria el trabajo de las bacterias nitrificantes. La reducción de microorganismos patógenos ocurre en forma parcial y se produce por los mecanismos de absorción, filtración, sedimentación y depredación de organismos superiores, requiriendo en caso necesario de un proceso posterior de desinfección.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los HAFSS se emplean como tratamiento secundario de efluentes provenientes de tratamientos primarios; tanques sépticos / Imhoff/ lagunas anaerobias. Tienen la ventaja de requerir menor área de terreno que los humedales de flujo superficial, de limitar el desarrollo de mosquitos en su superficie (debido al flujo subsuperficial) y de no generar malos olores. Producen buena calidad de efluentes en términos de DBO, sólidos totales y remociones moderadas de patógenos. Se tiene una menor remoción de nutrientes (Nitrógeno, Fósforo), metales pesados y trazas de sustancias orgánicas. La remoción de contaminantes depende del tiempo de retención hidráulico, características del medio poroso, magnitud de la carga orgánica y las condiciones de operación y mantenimiento. La eficiencia de remoción es función del área superficial, mientras que la sección transversal del humedal determina la máxima capacidad de transporte de las aguas residuales.

Los HAFSS son aplicables tanto para el tratamiento de aguas grises como de aguas negras en zonas rurales, pequeñas localidades y zonas periurbanas. Estos sistemas

de tratamiento pueden ser empleados para el mejoramiento de la calidad de los efluentes primarios con fines de su reuso en la agricultura. Considerando el tipo de cultivo al cuál sea destinado o para su uso irrestricto, puede requerirse un sistema de desinfección (tipo radiación ultravioleta). Dependiendo del volumen de las aguas residuales a tratar, y por lo tanto del tamaño, los HAFSS pueden ser apropiados para sistemas descentralizados, a nivel domiciliario o colectivo, en zonas urbanas – periurbanas. En zonas áridas de bajas precipitaciones, será necesario realizar un balance hídrico a objeto de evaluar los impactos en la eficiencia del humedal.

La Tabla 1, indica valores referenciales sobre la eficiencia de los HAFSS en la remoción de los principales contaminantes presentes en las aguas residuales.

Tabla 1. Mecanismos de remoción y eficiencia de los HAFSS

Componente	Mecanismos principales de remoción	Eficiencia en remoción
Materia orgánica	Degradación microbiológica, sedimentación, floculación, filtración, absorción.	80 % - 90 % (Alta)
Sólidos suspendidos	Sedimentación, floculación, filtración, absorción.	80 % - 90 % (Alta)
Nitrógeno	Degradación microbiológica, nitrificación – desnitrificación, plantas.	20% - 40% (Baja)
Fósforo	Adsorción en la biomasa.	20 % (Baja)
Microorganismos Patógenos	Depredación biológica, decaimiento natural, sedimentación, filtración,	1 – 3 Unid. Log (Media)

Fuente: Martin Gauss, WSP – LAC.

CRITERIOS DE DISEÑO

Los factores predominantes en el diseño de los HAFSS, están definidos por la eficiencia en la remoción de carga orgánica y el contenido de sólidos suspendidos. Existen diversos modelos matemáticos que permiten diseñar HAFSS en función a la remoción de DBO esperada. Sin embargo no existe un único modelo que satisfaga todos los casos. Como una guía para el diseño se adjuntan en la Tabla 3, valores y recomendaciones de la carga orgánica superficial (g DBO / m².d) y de sólidos suspendidos, así como de otros parámetros importantes. Estos valores son resultado de una evaluación del comportamiento de humedales en operación (experiencia norteamericana) y que cuentan con un tratamiento primario (EPA – 2000).

Otro factor importante a tener en cuenta en el diseño, es la determinación del nivel del agua subsuperficial en el humedal, el mismo que debe situarse 10 cm por debajo del nivel del material filtrante. Considerando los aspectos hidráulicos, se debe prestar atención a las estructuras de ingreso y salida a objeto de garantizar una distribución uniforme del flujo. Para la estimación del ancho del humedal y el trazado del perfil hidráulico, se aplica la ecuación de Darcy para valores de permeabilidad “K” en medios porosos que se indican en la Tabla 2. La permeabilidad de un medio poroso se define como la capacidad de transmitir agua, se mide en m³/m².d ó m/d.

Basado en estudios de los datos presentados en la Tabla 2, se recomiendan los siguientes valores conservadores de permeabilidad (K), ver Fig. 3:

Para la zona 1 (30% de la zona de tratamiento) del humedal:
 $K_i = 1\%$ del valor de “K” en estado limpio del material filtrante.

Para la zona 2 (70% de la zona de tratamiento) del humedal:
 $K_f = 10\%$ del valor de “K” en estado limpio del material filtrante.

Tabla 2. Valores de permeabilidad de material filtrante reportados en la literatura

Tamaño y tipo del medio filtrante	Valor de K (m/d) filtro “limpio - sucio”	Tiempo de operación
50 - 10 mm, grava	34 000 - 12 000	2 años
50 - 10 mm, grava	34 000 - 900	2 años
17 mm, roca	100 000 - 44 000	4 meses
6 mm, grava	21 000 - 9 000	4 meses
30 - 40 mm grava gruesa	SD - 1000	2 años
5 - 14 grava fina	SD - 12 000	2 años
19 mm roca	120 000 - 3 000	7 meses
14 mm grava fina	15 000 - SD	2 años
22 grava gruesa	64 000 - SD	2 años

Fuente: Adaptado, EPA . SD: Sin datos

Como unidad de pretratamiento se deben considerar unidades de tratamiento primario como desarenadores, tanques sépticos / Imhoff, filtros / lagunas anaerobias. No es recomendable el empleo de humedales artificiales para tratar efluentes de lagunas de estabilización, los mismos que pueden generar la colmatación del lecho filtrante por efecto de la acumulación de algas.

Tabla 3. Humedales artificiales de flujo subsuperficial. Guías de diseño*

Parámetros	Valores / Recomendaciones
Tiempo de retención hidráulico:	3 – 4 días, remoción de (DBO)
	6 – 10 días, remoción de Nitrógeno
Pretratamiento	Tratamiento primario: desarenadores, tanques sépticos, tanques Imhoff, sedimentación primaria)
Carga orgánica superficial aplicada considerando la remoción de materia orgánica (DBO ₅).	6 g DBO ₅ /m ² . d ; para obtener una DBO ₅ residual de 30 mg/L en el efluente.
	1,6 g DBO ₅ /m ² . d ; para lograr una DBO residual de 20 mg/L en el efluente.
Carga superficial aplicada considerando la remoción de sólidos suspendidos (SS).	20 g SS/m ² . d ; para obtener un residual de sólidos suspendidos de 30 mg/L en el efluente.
Relación de vacíos del lecho del filtro	0,45
Profundidad del medio filtrante	0,50 m – 0,60 m

Profundidad de la columna de agua	0,40 m – 0,50 m
Relación Geométrica (largo/ancho)	2:1 – 4:1 (Mínimo valor de longitud recomendado de 15 m). Máximo ancho recomendado de 61 m
Pendiente del lecho del humedal	0,5 % - 1%. El lecho superior del material filtrante debe mantener un nivel horizontal.
Permeabilidad del material filtrante K (m/d):	Primeros 30% de la longitud del canal 1% de K (grava limpia)
	Siguientes 70% de la longitud del canal 10% de K (grava limpia)
Material Filtrante (por zonas):	Ingreso (en los primeros 2,0 m), 40 – 80 mm de diámetro; 1 ½ “- 3 “ .
	Zona de tratamiento, 20 – 30 mm de diámetro; (3/4” – 1”), emplear K = 100 000, para grava limpia, si no se conoce el valor actual.
	Salida (en el último metro), 40 – 80 mm; 1 ½ “- 3 “
	Zona de plantas acuáticas (los primeros 10 cm del material filtrante), 5 – 20 mm; 1/4” – 1/2”.
Plantas acuáticas	Macrófitas: Totorá, Jacintos, Carrizo, Juncos, etc.
Otras recomendaciones	Prever al menos dos unidades de HAFSS en paralelo. Emplear un mecanismo ajustable para balancear el caudal de ingreso. Emplear un mecanismo ajustable de control del caudal efluente.

*Fuente: Adaptado EPA – 2000

Como una referencia de la experiencia del comportamiento de humedales en Latinoamérica, se presenta la Tabla 4 que muestra los resultados de 6 años de monitoreo y evaluación de una planta piloto en Masaya, Nicaragua.

Tabla 4. Eficiencia de humedales de flujo subsuperficial.
Planta piloto de Masaya, Nicaragua.

Parámetro	Agua residual influente	Efluente del tanque séptico	Efluente del HAFSS	Eficiencia de remoción del HAFSS	Eficiencia de todo el sistema (TS + HAFSS)
pH	6,8	-	7,1	-	-
DBO ₅ (mg/L)	270	92	6	93%	98%
DQO (mg/L)	653	249	35	86%	95%
S.S. (mg/L)	251	59	7,5	86%	97%
Nitrógeno total (mg/L)	34	34	22	33%	33%
Fósforo total (mg/L)	6,1	5,5	4,5	18%	27%
E.Coli (NMP/100 ml)	1,6 x 10 ⁷	3,5 x 10 ⁶	7,0 x 10 ⁴	1.7 log	2,4 log.
Helminthos (N/ 1000 ml)	23	-	< 1	-	> 1,4 log.

Fuente: WSP – LAC.

Los resultados de la experiencia en Nicaragua muestran los siguientes valores de carga superficial aplicada:

$$DBO_5 = 6 - 8 \text{ g / m}^2 \cdot \text{d}$$

$$SS = 4 - 6 \text{ g / m}^2 \cdot \text{d}$$

La Fig.2 muestra el diagrama de flujo típico de un sistema de tratamiento empleando HAFSS, el mismo que comprende de una fase de pretratamiento (rejillas, desarenador,) otra de tratamiento primario (tanque séptico, Imhoff, filtros anaerobios, lagunas anaerobias) para concluir con los HFSS. La disposición final dependerá del uso que se dé al efluente.

Dependiendo la zona ecológica, Altiplano, Valles y Llanos, se recomienda la implementación de proyectos demostrativos que permitan ajustar los parámetros de diseño en función de las diferentes variables (temperatura, carga orgánica, altitud, radiación solar, etc.).

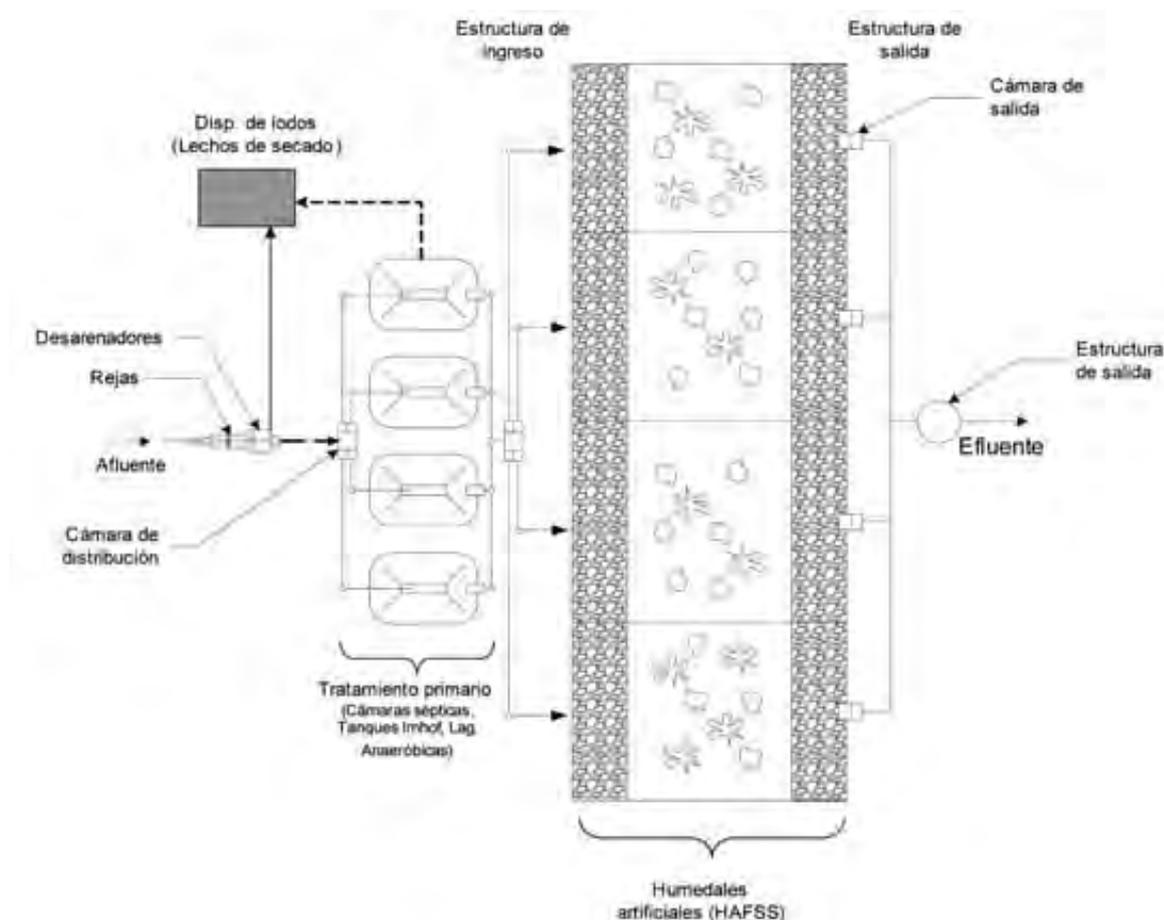


Fig.2. Sistema de tratamiento con humedales artificiales de flujo subsuperficial

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Los componentes de un humedal artificial de flujo subsuperficial son los siguientes:

- Estanque o canal de almacenamiento
- Material filtrante
- Plantas acuáticas
- Estructuras de entrada y salida

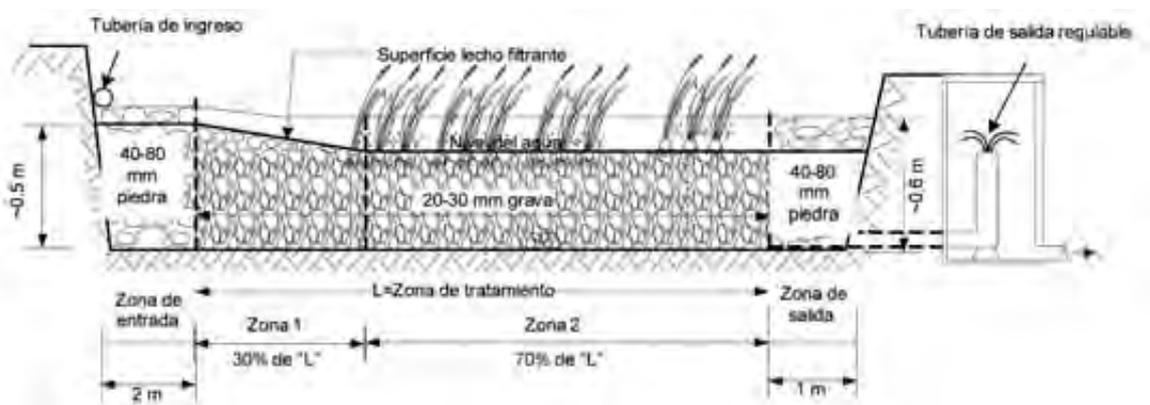
Estanque o canal de almacenamiento

El estanque o canal de almacenamiento es una fosa excavada sobre terreno firme y previo estudio de suelos que determine entre otros parámetros el nivel de las aguas subterráneas. El lecho del estanque debe ser impermeabilizado con material de arcilla o geotextil a objeto de evitar la infiltración de las aguas. Los terraplenes o bermas de contención siguen las mismas recomendaciones indicadas para los humedales de flujo superficial. Para fines de mantenimiento y facilitar el drenaje de las aguas residuales, se debe tener una pendiente del lecho del canal entre 0,5 – 1% en el sentido del flujo (ingreso – salida). La profundidad mínima recomendable se encuentra en el rango de 0,40m – 0,60 m. El área superficial del humedal es función de la carga orgánica aplicada ($\text{g DBO}_5 / \text{m}^2 \cdot \text{d}$) o la correspondiente a la remoción de sólidos suspendidos ($\text{g SS} / \text{m}^2 \cdot \text{d}$) indicados en la Tabla 3, y del aporte diario contaminante de las aguas residuales que ingresan al humedal ($\text{g DBO}_5 / \text{d}$ ó $\text{g SS} / \text{d}$). La selección de los valores de la Tabla 3, se realiza en función a la calidad requerida del efluente final y de uso o disposición final (de acuerdo a la normativa ambiental).

El ancho del humedal se determina aplicando las ecuaciones de Darcy y es función del área superficial, la profundidad del lecho filtrante y de la conductividad del material grueso. El ancho de una celda individual debe ser suficiente para la instalación de las estructuras de ingreso y salida. Estas instalaciones deben garantizar una distribución uniforme de caudales. El ancho máximo recomendado es de 61 m, para una longitud mínima entre 12 – 15 m que evite la formación de cortocircuitos. La relación largo / ancho, parece no afectar el funcionamiento de los HAFSS, sin embargo, tomando en cuenta las dimensiones mínimas indicadas líneas arriba, se obtienen relaciones recomendables de 2:1.

Material Filtrante

El material filtrante se distribuye en cuatro zonas (ver Fig.3):



Fuente: EPA - 2000

Fig. 3. Detalle humedal Artificial de flujo subsuperficial

I) Zona de ingreso, con una longitud de 2,0 m de longitud, disponiendo material grueso de 40 – 80 mm (1 1/2” – 3”) a objeto de limitar el riesgo de colmatación y permitir una distribución uniforme de caudales, se extiende en toda la zona de ingreso al filtro con una pendiente de 2:1- 3:1 de colocación del material filtrante. Se pueden usar gaviones, los cuales facilitan la limpieza del material filtrante.

II) Zona o área de tratamiento, cuya longitud corresponde a la obtenida por cálculo, y donde se dispone el material filtrante con una granulometría entre 20 – 30 mm. Para condiciones limpias de este material, se puede asumir un valor del coeficiente de conductividad hidráulica de 100 000 m/d. La pendiente correspondiente a los terraplenes de esta zona debe ser lo más vertical posible, en función a las características del suelo, a objeto de limitar el área de drenaje de aguas superficiales que pueden afectar el rendimiento de los humedales. En el área de tratamiento se distinguen claramente dos zonas, ver Fig. 3 i) la Zona 1 que corresponde al área inicial de tratamiento, equivalente al 30% de la longitud total del filtro, donde por efecto del proceso de sedimentación la mayor parte de los sólidos suspendidos son removidos, disminuyendo de este modo la conductividad hidráulica (K) del material filtrante; ii) la Zona 2 donde el proceso de tratamiento continúa y donde la conductividad hidráulica del material filtrante es afectada en menor grado.

III) Zona de salida, con una longitud de 1,0 m de longitud, disponiendo material grueso de 40 – 80 mm (1 1/2” – 3”) a objeto de limitar el riesgo de colmatación y permitir una distribución uniforme, se extiende en toda la profundidad del filtro con una pendiente de 2:1 – 3:1. Se pueden usar gaviones, los cuales facilitan la limpieza del material filtrante.

Es recomendable el empleo de material grueso que tenga la forma redondeada y con una dureza (Mohs) de 3 o más unidades. Estas gravas se encuentran en las formaciones aluviales corrientes.

Es recomendable nivelar el llenado del material filtrante en forma horizontal a objeto de facilitar las tareas de limpieza y plantación de la vegetación acuática.

Estructuras de ingreso y salida de caudales

Se debe prever la construcción de estructuras de registro y control de caudales al ingreso de cada humedal.

La estructura de ingreso debe permitir una distribución uniforme de caudales en todo el ancho del humedal, evitando de este modo la colmatación del material filtrante, ver Fig. 4. Relaciones largo / ancho menores a 1 no son aconsejables por el riesgo de cortocircuitos. El sistema más recomendable para una distribución uniforme del flujo, es el empleo de tuberías perforadas, accesorios “T” o vertederos en forma de “V”. En el caso de tuberías perforadas, la separación de los orificios debe ser uniforme, aproximadamente un 10% del ancho del humedal. Se debe contar con estructuras que posibiliten la inspección y limpieza de las tuberías de distribución por parte del operador.

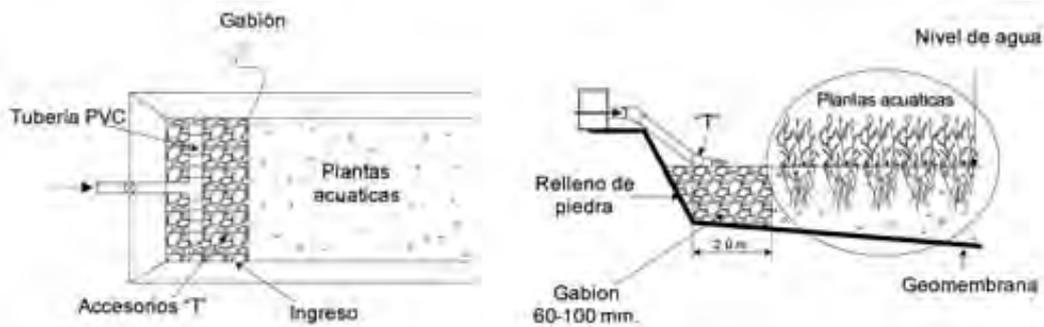


Fig. 4. HAFSS. Estructura de ingreso

La estructura de salida se diseña para minimizar los riesgos de corto circuitos y zonas muertas y poder maximizar una recolección uniforme del efluente. Asimismo, la estructura debe permitir variar el nivel del agua, para el manejo de las pérdidas de carga y caudales, y permitir el drenaje del sistema en situaciones de mantenimiento y/o retiro del material filtrante. Se recomienda un sistema de recolección a la salida de tipo sumergido, con tubería perforada, extendido en todo el ancho del humedal, de manera que permita una captación uniforme del efluente tratado. La máxima separación recomendable entre orificios de la tubería perforada no debe superar el 10% del ancho (B) del humedal. Es recomendable la regulación del caudal de salida mediante un mecanismo independiente, situado en una cámara de salida que permita regular el nivel del agua y permitir el drenaje de las aguas para el mantenimiento de toda la unidad, ver Fig. 5.

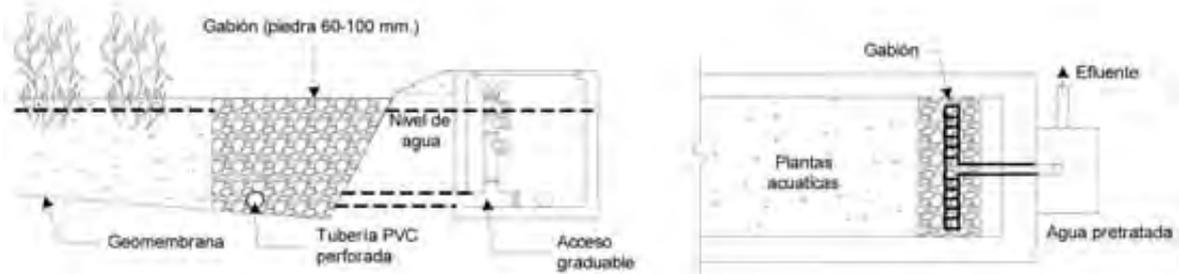


Fig. 5. HAFSS. Estructura de salida

Plantas acuáticas

Se emplean las mismas plantas acuáticas (macrófitas) que las empleadas en los humedales de flujo superficial, ver Tabla 3, de la hoja técnica de Humedales Artificiales de Flujo Superficial. La planta acuática comúnmente utilizada a nivel mundial es la *Phragmites australis*, conocida como carrizo.

En Bolivia una de las macrófitas más conocidas es la *Totora* (*Scirpus californicus*) que abunda en la zona del lago Titicaca. Estas plantas han sido empleadas en la depuración de aguas residuales, a nivel experimental, en Cochabamba por el centro CASA de la Universidad Mayor de San Simón.

Costos

De acuerdo a la experiencia internacional, los costos de inversión de los HAFSS fluctúan entre los 20 a 30 US\$ / cápita sin considerar los costos de los terrenos que

son necesarios para su implementación. El material filtrante es uno de los insumos más importantes y que influyen en los costos de construcción de los HAFSS. La provisión del material filtrante depende de la ubicación de un banco de materiales próximo al lugar de construcción o zona de intervención. Incluyendo los costos de tratamiento primario, como rejillas, desarenador, tanque séptico, los costos totales están en un rango de 50 – 100 US\$ / cápita. Los costos anuales de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de HAFSS están alrededor de los 2 – 5 US\$ / cápita. Para la implementación de un proyecto de HAFSS, se deben incluir, además de los costos de inversión y los de O&M, los correspondientes a la capacitación y educación comunitaria así como la puesta en marcha de la planta.

Ejemplo de cálculo

Diseño de un HAFSS para una zona urbana en expansión, de uso habitacional, como una unidad de tratamiento secundario de una planta de tratamiento de aguas residuales consistente en rejillas, desarenador, tanque séptico y HAFSS.

Datos de diseño:

Número de viviendas: 200

Número de habitantes por vivienda: 5 p/Viv.

Consumo per cápita adoptado: 120 L/p.d

Coefficiente de aporte de aguas residuales: 0,85

Caudal de diseño: $200 \text{ Viv} \times 120 \text{ L/p.d} \times 5 \text{ p/Viv} \times 0,85 = 102\ 000 \text{ L/d} = 102 \text{ m}^3/\text{d}$

Caracterización del agua residual: $\text{DBO}_5 = 120 \text{ mg/L} = 120 \text{ g/m}^3$; $\text{SS} = 100 \text{ mg/L} = 100 \text{ g/m}^3$ (Información de EPSA – La Paz. Para otras zonas de estudio tomar en cuenta datos disponibles y/o estudios de evaluación en zonas o localidades similares).

Tratamiento primario: Rejillas, desarenador y tanque séptico.

Eficiencia del tratamiento primario: 20% en DBO_5 y de 30% en SS (Valores conservadores).

DBO_5 en el efluente del tanque séptico = $0,80 \times 120 \text{ mg/L} = 96 \text{ g/m}^3$, adoptamos 100 g/m^3

SS en el efluente del tanque séptico = $(100 \text{ mg/L}) \times 0,70 = 70 \text{ mg/L} = 70 \text{ g/m}^3$

Material filtrante: grava con granulometría de 20-30 mm de diámetro

Coefficiente de conductividad hidráulica (K): 100 000 (m/d), para grava en estado limpio.

Profundidad media del tirante de agua: 0,40 m (Tabla 3)

Profundidad media del lecho filtrante (D_m): 0,60 m (Tabla 3)

Pérdida de carga admisible en la zona inicial de tratamiento: 10% de D_m : $0,10 \times 0,60 = 0,06 \text{ m}$

i) Determinación del área superficial del humedal

Consideramos los dos contaminantes principales:

a) DBO_5

Para un efluente final con una DBO_5 igual o menor a 30 mg/L, se adopta una carga orgánica superficial aplicable de $6 \text{ g/m}^2.\text{d}$ (ver Tabla 3). El área superficial requerida del humedal será:

$$As_1 = (100 \text{ g/m}^3) \times (102 \text{ m}^3/\text{d}) / (6 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}) = 1\,700 \text{ m}^2$$

b) SS

Para un efluente con un contenido de igual o menor a 30 mg/L, se adopta una carga superficial aplicable por SS de 20 g/m².d (ver Tabla 3). El área superficial requerida del humedal será:

$$As_2 = (70 \text{ g/m}^3) \times (102 \text{ m}^3/\text{d}) / (20 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}) = 357 \text{ m}^2$$

Adoptamos como área superficial del humedal el valor mayor $As = 1\,700 \text{ m}^2$

ii) Determinación del ancho del humedal (B)

De acuerdo a la Fig. 3, la zona de tratamiento del humedal, donde se lleva a cabo el proceso de estabilización de la materia orgánica, se divide en dos zonas:

1) Zona 1 o área inicial de tratamiento $A_i = 30\%$ de $As = 0,30 \times 1\,700 \text{ m}^2 = 510 \text{ m}^2$, donde el coeficiente de permeabilidad $K_i = 1\%$ de $K_{\text{limpio}} = 0,01 \times 100\,000 = 1\,000 \text{ m/d}$

2) Zona 2 o área final de tratamiento $A_f = 70\%$ de $As = 0,70 \times 1\,700 = 1\,190 \text{ m}^2$, donde el coeficiente de permeabilidad del material filtrante $K_i = 10\%$ de $K_{\text{limpio}} = 0,10 \times 100\,000 = 10\,000 \text{ m/d}$

Considerando la Zona 1, la longitud inicial será igual: $L_i = \frac{As_i}{B}$

Ecuación de Darcy: $V = K_i \cdot i$; $Q = K_i \cdot i \cdot A_c = K_i \cdot B \cdot D_w \cdot \frac{dh}{L_i} = K_i \cdot A_c \cdot i = K_i \cdot B \cdot D_w \cdot \left(\frac{dh}{L_i}\right)$

$$B^2 = \frac{Q \cdot A_{si}}{K_i \cdot D_w \cdot dh}$$

Donde:

Q: Caudal de diseño (m³/d)

K_i: Permeabilidad del lecho filtrante, (m³/m².d ó m/d), en la zona inicial de tratamiento.

A_c: Área transversal del humedal normal al flujo del agua (m²) igual a (B · D_w), área hidráulica.

B : Ancho del humedal (m)

D_w : Profundidad de la lámina de agua (m)

i : Gradiente hidráulico (dh/L_i), pérdida de carga por unidad de longitud (m/m).

$$B^2 = (102 \times 510) / (1000 \times 0,40 \times 0,06) = 2\,167,50$$

$$B = 46,56 \text{ m}$$

iii) Determinación de la longitud inicial de la zona de tratamiento, Zona 1, (L_i)

$$L_i = \frac{A_i}{B} = (510) / (46,56) = 10,94 \text{ m} = 11 \text{ m}$$

La pérdida de carga en el tramo inicial será: $dh = \frac{Q \cdot L_i}{K_i \cdot B \cdot D_w}$

$$dh = (102 \times 11) / (1000 \times 46,56 \times 0,40) = 0,06 \text{ m}$$

iv) Longitud de la zona final de tratamiento, Zona 2, (L_f)

$$L_f = \frac{A_f}{B} = (1190) / (46,56) = 25,56 \text{ m} = 26 \text{ m adoptado}$$

La pérdida de carga en el tramo inicial será: $dh = \frac{Q \cdot L_f}{K_f \cdot B \cdot D_w}$

$$dh = (102 \times 26) / (10000 \times 46,56 \times 0,40) = 0,014 \text{ m}$$

La longitud total de la zona de tratamiento del humedal será $L = L_i + L_f = 11 + 26 = 37 \text{ m}$

A esta longitud se deberá añadir la zona de ingreso y salida del humedal, totalizando:

$$L_T = 2 + 37 + 1 = 40 \text{ m.}$$

Por razones de operación y mantenimiento se recomienda dos unidades de humedales de 23,5 m de ancho por 40 m de longitud.

Obtenida la anterior información se podrá determinar el perfil hidráulico del humedal.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las principales tareas de operación y mantenimiento se indican en la Tabla 3. Estas tareas pueden ser ejecutadas por un solo operario de la planta.

Tabla 5. Actividades Principales de Operación y Mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Remover el material sólido retenido en las rejillas.	Revisión diaria de las rejillas, observando la presencia de material sólido que ingresa a la planta de tratamiento.
Retiro de sedimentos en el canal de ingreso al humedal	Revisión mensual del canal de ingreso al humedal observando la presencia y cantidad de material sólido sedimentado.
Medición y control de caudales	Medición diaria de caudales, controlando el nivel de agua en la regla de aforo ubicada en la cámara de regulación.
Retiro de material sólido presente en el desarenador.	Limpieza periódica del desarenador retirando las partículas sólidas acumuladas y grasas presentes.
Retiro del material flotante en los tanques sépticos.	Limpieza regular de la capa superior flotante de los tanques sépticos.
Retiro de lodos en los tanques sépticos.	Limpieza regular de los lodos sépticos almacenados en los tanques sépticos, su tratamiento y disposición final.
Corte o podado de las plantas acuáticas	Realizar tareas de corte y retiro de material vegetal del humedal en forma periódica, dependiendo del ciclo natural de la especie sembrada.
Medición de la pérdida de carga en el filtro	Medir el nivel de agua en la cámara de salida del humedal.
Verificación del estado de la verja o cerco de protección del humedal.	Mantenimiento y/o reposición de cercas, instalación de protección contra el ingreso de animales y/o personas extrañas.
Medición de la DBO, Coliformes totales.	Medir la carga orgánica, Colif. Fecales, SS, en el caudal de ingreso y en el efluente del humedal, al menos una a dos veces por año o cuando se observe un deterioro evidente de la calidad del mismo.

RESUMEN DE RIESGOS

La Tabla 6 detalla los riesgos asociados que deben tenerse en cuenta para el diseño de estos sistemas.

Tabla 6. Riesgos Asociados. Humedales Artificiales de Flujo Superficial

Evento	Peligro Asociado	Causa	Medidas Preventivas
Descarga directa del efluente del HAFSS al medio ambiente (suelo, cuerpos de agua)	Contaminación microbiológica y fisicoquímica de cuerpos de agua y suelo.	Carencia de un tratamiento terciario de los efluentes o baja capacidad de dilución del cuerpo de agua.	Tratamiento terciario: lagunas de maduración, desinfección ultravioleta, campos de infiltración.
Reuso irrestricto de efluentes de un humedal en la agricultura.	Contaminación microbiológica de cultivos.	Reuso de efluentes sin tratamiento terciario y sin control sanitario.	Reuso controlado en determinado tipo de cultivos de acuerdo a la calidad del efluente. Diseño de un tratamiento terciario en función al tipo de cultivo aplicado.
Olores sépticos	Rechazo de la comunidad.	Mala operación y mantenimiento de la planta en general. De otras unidades de pretratamiento, tanques de sedimentación, lechos de secado.	Desarrollar programas regulares de fortalecimiento institucional y de capacitación a los operadores del sistema. Monitoreo y control de la planta de tratamiento, participación comunitaria.
Inundación de instalaciones.	Contaminación ambiental, suspensión del servicio, deterioro, destrucción de la infraestructura.	Diseño en zonas de inundación sin considerar los riesgos asociados al cambio climático y/o desastres naturales.	Analizar la vulnerabilidad del sistema ante situaciones de desastres naturales y los efectos del Cambio Climático.
Contacto humano con los efluentes.	Contaminación microbiológica por contacto directo con los efluentes de la planta de tratamiento (aguas residuales, lodos sépticos).	Descarga directa al medio ambiente sin medir los riesgos asociados. Carencia de un tratamiento terciario, y de una disposición sanitaria de los lodos sépticos.	Desarrollar programas de fortalecimiento institucional a la EPSA y de educación, información y comunicación a la población. Protección de los operadores de la planta. Ubicación adecuada de la planta. Desinfección, tratamiento de lodos.
Presencia de mosquitos y vectores.	Contacto con la población.	Mala operación de la planta, ausencia de las tareas de O&M.	Monitoreo y control de efluentes. Plan de O&M.
Acceso irrestricto a los humedales artificiales.	Riesgo de accidentes por ahogamiento y/o contaminación, por contacto directo con las aguas residuales de los HAFSS.	Carencia de vigilancia y control de accesos. Carencia de verjas o cercas de protección.	Desarrollar programas de fortalecimiento institucional a la EPSA en planes de contingencia. Acceso controlado del público.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas	Desventajas
<p>Estéticamente agradable y proporciona un buen hábitat para el desarrollo de plantas acuáticas y otras especies.</p> <p>Alta reducción de la DBO, sólidos suspendidos y de huevos de helmintos.</p> <p>Bajos costos de O&M, pueden ser construidos y reparados con materiales locales disponibles.</p> <p>No se requiere el empleo de equipos mecanizados ni consumo de energía.</p> <p>Las tareas de O&M son relativamente simples, no se requiere de herramientas sofisticadas.</p> <p>Las condiciones de flujo subsuperficial eliminan y/o limitan las posibilidades de crianza de mosquitos y otros vectores. No se generan malos olores.</p> <p>Los efluentes pueden ser utilizados en la agricultura, dependiendo de su origen (aguas grises o negras) y del tipo de cultivo a destinarse.</p>	<p>Requiere superficies grandes para mayores caudales.</p> <p>Requiere de un largo tiempo para la puesta en operación a plena capacidad de la planta.</p> <p>Puede requerir de elevadas cantidades de material grueso clasificado, no siempre disponible en algunas regiones del país.</p> <p>Colmatación de los filtros por una mala O&M, exigiendo el retiro y/o limpieza del material grueso, lo cual puede generar costos adicionales que encarezcan la operación de la planta de tratamiento.</p> <p>Requiere de una EPSA con buena institucionalidad que permita garantizar las labores de operación y mantenimiento regulares.</p> <p>Requiere de un buen sistema de pretratamiento para su eficiente funcionamiento.</p>

Referencias

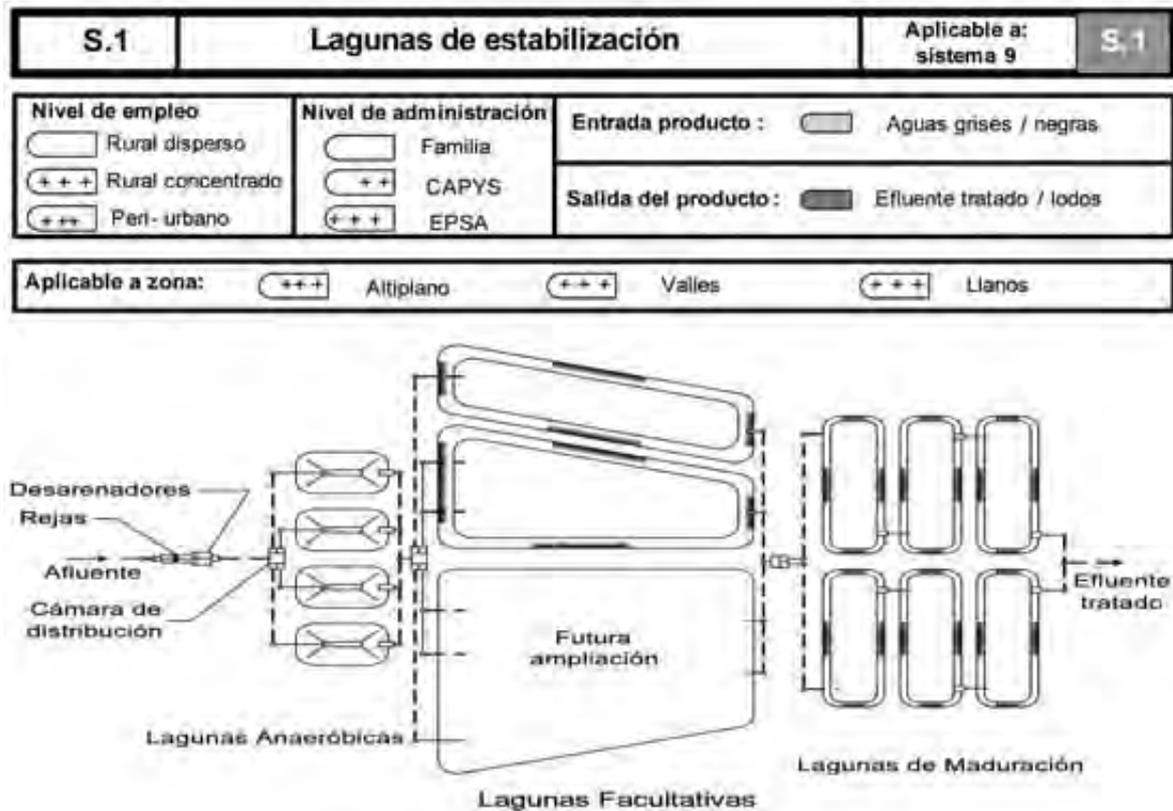
Water and Sanitation Program. Constructed Wetlands: A promising wastewater treatment system for small localities. May 2008.

Tilley, Elizabeth et al, 2008. Compendium of Sanitation Systems and Technologies. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland.

EPA. Manual. Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. September 1999.

Centro Agua. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba 2010.

Melbourne Water. Design Guidelines for Developers. November 2005.



Fuente: M.Juanicó & H.Weinberg

Fig. 1. Tratamiento de aguas residuales con lagunas de estabilización

DESCRIPCIÓN

Las lagunas de estabilización, Fig. 1, constituyen un sistema de tratamiento natural que consisten en estanques artificiales de tierra adonde las aguas residuales son conducidas y sujetas a procesos naturales de remoción de contaminantes. A través de procesos físico-químicos y biológicos son eficientes en la remoción de materia orgánica, sólidos, microorganismos patógenos y otros contaminantes (N, P, ect.). El proceso de tratamiento comprende la interacción de la biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc.) con la materia orgánica (contenida en las aguas residuales) y con otros fenómenos naturales (físicos, químicos, biológicos) que en conjunto producen un efluente de mejor calidad.

Existen tres tipos de lagunas: anaeróbicas, facultativas y aeróbicas (de maduración) que en conjunto conforman un solo sistema de tratamiento, cada una con sus propias características de comportamiento y diseño.

Las lagunas anaeróbicas son estanques profundos, 2,5 – 5,0 m, donde la descomposición de la materia orgánica se produce sin la presencia de oxígeno disuelto, recibiendo cargas orgánicas elevadas de modo que la actividad fotosintética de las algas es eliminada. Las bacterias que se desarrollan (anaeróbicas) transforman la materia orgánica produciendo gases como el metano (CH_4), hidrógeno sulfurado (H_2S) y dióxido de carbono (CO_2) y otros productos minerales.

Las lagunas facultativas se caracterizan por el desarrollo simultáneo de dos procesos naturales de descomposición: el aeróbico en el estrato superior de la

laguna (interacción entre materia orgánica, algas y bacterias) y el anaeróbico en los estratos inferiores. Son estanques de profundidad media, de 1,5 – 2,5 m, donde el contenido de oxígeno libre varía conforme se aleja de la superficie del agua.

Las lagunas aeróbicas, conocidas como lagunas de maduración o pulimento, se caracterizan porque la estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo en presencia de oxígeno disuelto en toda la profundidad de la laguna. Son estanques de poca profundidad, 0,50 – 1,5 m, que permiten la penetración de la luz solar en toda su profundidad. Se emplean como última etapa del sistema de tratamiento con el propósito principal de mejorar la remoción de microorganismos patógenos.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Las lagunas de oxidación se emplean como tratamiento de aguas residuales domésticas (grises, negras) y/o industriales. En ciudades pequeñas, medianas y grandes, son los sistemas más económicos de tratamiento, siempre y cuando se cumplan ciertos requisitos de calidad de suelo, clima y ubicación. Dependiendo de la calidad del agua residual, las lagunas de estabilización se emplean en forma individual o en serie.

Entre los criterios de selección ha considerarse tenemos los siguientes:

Reuso de efluente

En zonas áridas y semiáridas, valles, altiplano, chaco, la falta del recurso hídrico es un factor limitante para el desarrollo agrícola y donde el reuso de aguas residuales es un elemento clave que puede impactar en el desarrollo económico de la región, particularmente en la zona de los Valles donde existe un potencial para el reuso de las aguas residuales en la agricultura durante la época de estiaje. El reuso de las aguas residuales puede dirigirse a varios fines como el riego agrícola y el consumo doméstico (descarga de inodoros, riego de jardines, lavado de automóviles y otros). El nivel de tratamiento deseado deberá responder al reuso final del efluente evaluando los impactos en la salud pública y el medio ambiente.

Densidad de población

En localidades pequeñas, donde las aguas residuales son en su mayoría de origen doméstico, las lagunas de estabilización producen efluentes de mejor calidad para su posterior descarga al medio ambiente. En cuencas con varios poblados, o áreas metropolitanas, los efluentes de una planta de tratamiento pueden afectar negativamente el medio ambiente y por ende la salud de aquellas comunidades situadas aguas abajo. En estas zonas las soluciones de tratamiento y descarga de sus efluentes (incluyendo el reuso de los mismos), deben ser estudiadas y analizadas a nivel regional, en forma colectiva, con enfoque de cuenca, y no en forma individual o aislada (localidad por localidad). Dependiendo de la proximidad de las localidades es posible descentralizar los sistemas de tratamiento aglutinando a varios poblados y posibilitando la sostenibilidad del sistema.

Epidemiología

En zonas donde se tienen elevados índices de mortalidad infantil y presencia de enfermedades de origen hídrico, se debe priorizar la remoción de patógenos incrementando el número de lagunas de maduración y/o incluyendo reservorios. En

la zona de los llanos se deberán tomar las previsiones para limitar la proliferación de mosquitos y otros vectores.

Eficiencia en la Remoción de Contaminantes

Como en todo proceso de tratamiento biológico, entre los factores claves que afectan el rendimiento de las lagunas de estabilización podemos indicar: carga orgánica, temperatura, radiación solar, altitud, dirección y velocidad de los vientos. Estos factores deberán ser tomados en cuenta dependiendo de los diferentes ecosistemas identificados en Bolivia.

La Tabla 1, muestra los principales mecanismos de remoción y eficiencia de los sistemas de lagunas de estabilización.

Tabla 1. Mecanismos y eficiencia de remoción en lagunas de estabilización

Componente	Mecanismos principales de remoción	Eficiencia en remoción
Materia orgánica	Degradación microbiológica, sedimentación.	80 % - 90 % (Alta)
Sólidos suspendidos	Sedimentación.	80 % - 90 % (Alta)
Nitrógeno	Asimilación por algas, nitrificación – desnitrificación, sedimentación de lodos, adsorción por suelos.	20% - 40% (Baja)
Fósforo	Asimilación por algas.	20 % (Baja)
Microorganismos Patógenos (incluyendo helmintos y huevos de parásitos).	Depredación biológica, decaimiento natural, sedimentación, adsorción.	2 – 3 Unid. Log (Media)

Fuente: Crites & Tchobanoglous.

CRITERIOS DE DISEÑO

Existen varias metodologías de cálculo de lagunas de estabilización empleando diversos modelos matemáticos que difieren de acuerdo a diferentes experiencias internacionales. Sin embargo ninguno de los métodos tiene aceptación universal, en el caso particular la Bolivia, las diferentes regiones o ecosistemas tienen características diversas en términos de altitud, temperatura, radiación solar, etc.

Los criterios de diseño presentados en este documento son resultado del trabajo de investigación realizado por los expertos Marcelo Juanicó y Haim Weinberg que realizaron el estudio “Diseño del Proceso de Lagunas de Estabilización a Diferentes Altitudes para las Condiciones de Bolivia”. El estudio toma en cuenta las cargas orgánicas reales y la eficiencia de las diferentes lagunas de estabilización en funcionamiento de las principales ciudades del país. Considera las 14 zonas agroecológicas identificadas por Montes de Oca, en las cuales se han tomado en cuenta aquellos factores ambientales que inciden en el comportamiento de las lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales.

El diseño básico recomendado es un sistema de lagunas en serie, de flujo paralelo, a objeto de facilitar la operación y mantenimiento de las lagunas (manejo de caudales,

limpieza de lodos). El esquema comprende: (1) Rejas y un desarenador (opcional) (2) lagunas anaeróbicas en paralelo (3) lagunas facultativas en paralelo (4) una a tres lagunas de maduración en serie o dos a tres reservorios. Alternativamente se puede considerar una combinación de estos dos tipos de unidades (maduración y reservorios). Se recomienda establecer periodos de diseño que no superen periodos de implementación por etapas de cinco años, a objeto de que la operación de la laguna al inicio no sea afectada por la falta de caudal. En conjunto las lagunas anaeróbicas (tratamiento primario) y facultativas (tratamiento secundario) remueven la DBO y los sólidos suspendidos y parcialmente los microorganismos patógenos, mientras que las lagunas de maduración son diseñadas exclusivamente para la remoción de patógenos.

Efecto de la Altitud

En el Altiplano, la altitud (mayor a 3 600 msnm) tiene efectos sobre el desempeño de las lagunas de estabilización tomando en cuenta los siguientes factores: fuerte radiación solar, bajas temperaturas medias del aire y agua, diferencias marcadas de temperatura entre el día y la noche y baja presión de oxígeno. Las bajas temperaturas afectan principalmente a las lagunas anaeróbicas, inhibiendo el trabajo de las bacterias anaerobias. Se estima que por debajo de 7° C cesa todo proceso de fermentación metanogénica. Los efectos negativos de las bajas temperaturas disminuyen en menor proporción en la zona de los valles. En la zona de los llanos la temperatura es favorable en casi todo el año. La presión de oxígeno a 4 000 msnm es menor en cerca del 40% que la correspondiente a nivel del mar, no obstante esta pérdida de presión es compensada por la baja temperatura del agua que aumenta la solubilidad del oxígeno libre en el agua.

Tomando en cuenta los anteriores factores y el comportamiento de las lagunas de estabilización en las diferentes zonas ecológicas del país (Altiplano, Valles y Llanos), el estudio determina las cargas máximas que pueden ser aplicadas en las 14 zonas agro ecológicas de Bolivia (Montes de Oca). Un resumen de los valores de las cargas orgánicas para las principales zonas agroecológicas se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Cargas orgánicas aplicables de acuerdo a condiciones ambientales de Bolivia

Zona	Altitud (msnm)	Temp. Media del Agua (° C)	Lagunas anaeróbicas (g DBO ₅ / m ³ .d)	Lagunas facultativas (kg DBO ₅ / ha. d)
Altiplano	3600 - 4000	5 - 14	100	100
Valles	500 - 2800	10 - 25	100	150 - 230
Yungas	900 - 1000	19 - 26	200 - 400	200 - 250
Llanos	250 - 400	20 - 28	400	250
Chaco	700	18 - 26	400	250

Lagunas anaeróbicas

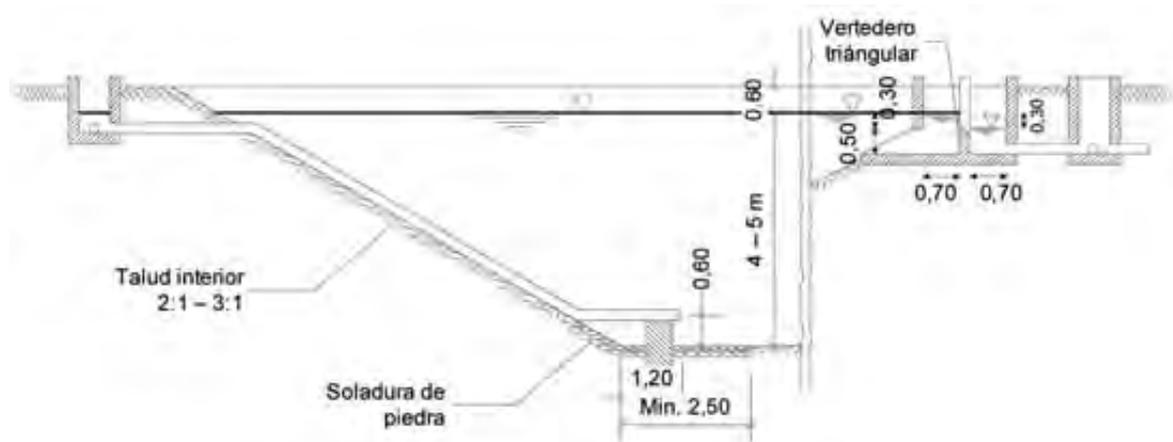


Fig. 2. Detalle lagunas anaeróbicas.

La principal función de las lagunas anaeróbicas (Fig. 1), es la de remover la DBO de las partículas suspendidas con una eficiencia del 50%. La remoción de patógenos no supera 0,5 de unidades logarítmicas. Altas concentraciones de sulfatos en las aguas crudas pueden afectar el rendimiento de estas lagunas, bajando su eficiencia a partir de valores superiores a 300 mg/L. La profundidad de estas lagunas fluctúa entre 2,5 – 5,0 m, con tiempos de retención de 1 – 7 días.

No se recomienda el empleo de lagunas anaeróbicas en zonas con temperaturas medias en invierno por debajo de los 7° C, por la generación de malos olores debido al proceso lento de estabilización. La Tabla 3 indica las áreas per cápita requeridas de acuerdo a las diferentes cargas orgánicas. Se adopta una contribución per cápita de la DBO₅ de 50 g /hab.d, valor universalmente aceptado, y un consumo per cápita de 100 L/hab.d. El cálculo de la superficie requerida por habitante es función de la carga orgánica máxima asimilada por la laguna.

Tabla 3. Superficie per cápita de lagunas anaeróbicas **

Carga orgánica (g DBO / m3.d)	Superficie requerida (m2/ hab.)	Profundidad (m)	Tiempo de retención (días)
100	0,10	5	5
150	0,067	5	3.35
200	0,05	5	2.5
400	0,025	5	1.25

** Contribución DBO 50 g / hab.día
Dotación per cápita 100 L / hab. día,

Ejemplo de cálculo

a) Diseño de una laguna anaeróbica en una localidad del Altiplano de 2 000 habitantes, con una dotación per cápita de 70 L/hab. d

De la Tabla 2, la carga máxima aplicada en la Zona del Altiplano no debe superar los 100 (g DBO₅ / m³.d)= 0,100 Kg DBO₅ / m³.d

Profundidad del estanque = 5,0 m

La carga orgánica de contribución = 2 000 hab. x 50 g DBO₅ / d= 100 000 g DBO₅ /d=100 kg DBO₅/d.

Área del estanque= (100 kg DBO₅/d) / (0,100 kg DBO₅ / m³.d) / 5,0 m= 200 m²

Tiempo de retención $t_R = \frac{V}{Q}$

Donde:

V=Volumen de almacenamiento de la laguna (m³)= 200 m² x 5 m= 1 000 m³

Q= Caudal de ingreso (m³/d)= 70 L/hab. d x 2 000 hab. = 140 000 L/d= 140 m³/d

$$t_R = \frac{1000}{140} = 7.14 \text{ días}$$

b) Para la zona de los Llanos, para una dotación per cápita de 120 L/hab.d

La carga orgánica de contribución = 2 000 hab. x 50 g DBO₅ / d= 100 000 g DBO₅ /d=100 kg DBO₅/d

De la Tabla 2, la carga máxima aplicada en la Zona de los Llanos no debe superar los 400 (g DBO₅ / m³.d)= 0,400 Kg DBO₅ / m³.d

Profundidad del estanque = 5,0 m

Área del estanque= (100 kg DBO₅/d) / (0,400 kg DBO₅ / m³.d) / 5,0 m= 50 m², que representa el 25% de lo requerido en la Zona del Altiplano.

Tiempo de retención $t_R = \frac{V}{Q}$

Donde:

V=Volumen de almacenamiento de la laguna (m³)= 50 m² x 5 m= 250 m³

Q= Caudal de ingreso (m³/d)= 120 L/hab. d x 2 000 hab. = 240 000 L/d= 240 m³/d

$$t_R = \frac{250}{240} = 1,04 \text{ días}$$

Lagunas Facultativas

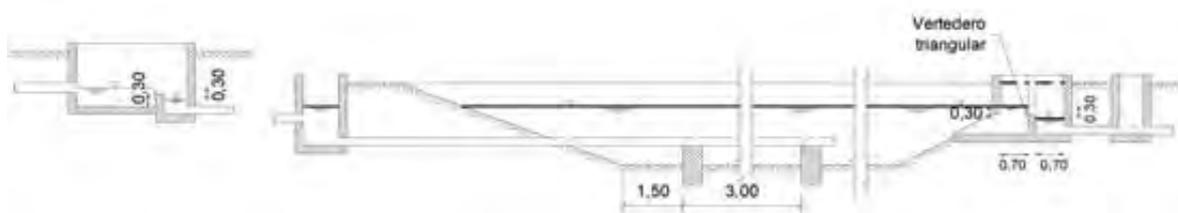


Fig. 3. Detalle. Lagunas facultativas.

La principal función de las lagunas facultativas (Fig. 3), es la de remover la DBO soluble y los organismos patógenos. Con una profundidad de 1.5 – 2.5 m, alcanzan tiempos de retención mayores a 30 días. La remoción prevista de la DBO es de 50%, con una eliminación de patógenos de 2 unidades logarítmicas. Se puede mejorar la remoción de patógenos disminuyendo la profundidad de la laguna hasta los 1.2 m y aumentando el área, sin variar el tiempo de retención. La remoción de la DBO se puede incrementar aumentando el tiempo de retención mediante una mayor profundidad de la laguna (hasta los 2.0 m). La Tabla 4 muestra las superficies per cápita requeridas para las diferentes cargas orgánicas aplicadas, considerando una contribución per cápita de 50 g DBO₅/hab.d y una dotación de agua de 100 L/hab.d.

Ejemplo de cálculo

a) Zona del Altiplano

Para una dotación per cápita de 40 L/hab.d. y una población de 2 000 habitantes. De la Tabla 2, para la Zona Altiplano se toma una carga orgánica máxima aplicada de 100 Kg DBO₅/ha.d.

$$\text{Área requerida por habitante/día} = \frac{50 \frac{\text{g DBO}_5}{\text{hab.d}}}{\left(100 \frac{\text{kg DBO}_5}{\text{ha.d}} \times \frac{\text{ha}}{10\,000 \text{ m}^2} \times 1\,000 \frac{\text{g}}{\text{kg}}\right)}$$

El área total requerida $A_t = 5 \text{ m}^2 \text{ hab/d} \times 2\,000 \text{ hab.} = 10\,000 \text{ m}^2$

Profundidad adoptada = 1,5 m

Tiempo de retención $t_R = \frac{V}{Q}$

Donde:

V=Volumen de almacenamiento de la laguna (m³)= 10 000 m² x 1,5 m= 15 000 m³

Q= Caudal de ingreso (m³/d)= 40 L/hab. d x 2 000 hab. = 80 000 L/d= 80 m³/d

$$t_R = \frac{15\,000}{80} = 187 \text{ días}$$

b) Para la Zona de los Llanos

Para una dotación de 120 L/hab.d y una población de 2 000 hab.

De la Tabla 2, se toma como carga orgánica máxima aplicada= 250 kg DBO₅/ha.d.

La carga orgánica de contribución = 2 000 hab. x 50 g DBO₅ / d= 100 000 g DBO₅ /d=100 kg DBO₅/d

El área total requerida $A_t = (100 \text{ kg DBO}_5/\text{d}) / (250 \text{ kg DBO}_5/\text{ha. d})=0,40\text{ha}= 4\,000 \text{ m}^2$ que representa el 40% del área requerida en la Zona del Altiplano.

Profundidad adoptada = 2 m

Tiempo de retención $t_R = \frac{V}{Q}$

Donde:

V=Volumen de almacenamiento de la laguna (m³)= 4 000 m² x 2 m= 8 000 m³

Q= Caudal de ingreso (m³/d)= 120 L/hab. d x 2 000 hab. = 240 000 L/d= 240 m³/d

$$t_R = \frac{8\,000}{240} = 33,33 \text{ días}$$

Tabla 4. Superficie per cápita de lagunas facultativas**

Carga orgánica aplicada (kg DBO / ha. d)	Área requerida (m ² /hab)	Tiempo de retención (días)			
		Profundidad (m)			
		1,50	1,70	2,00	2,50
100	5,00	75,00	85,00	100,00	125,00
150	3,33	50,00	56,67	66,67	83,33
200	2,50	37,50	42,50	50,00	62,50
230	2,17	32,61	36,96	43,48	54,35
250	2,00	30,00	34,00	40,00	50,00

** Contribución per cápita DBO 50 g / hab. d
Dotación per cápita 100 L / hab. d

Lagunas de maduración

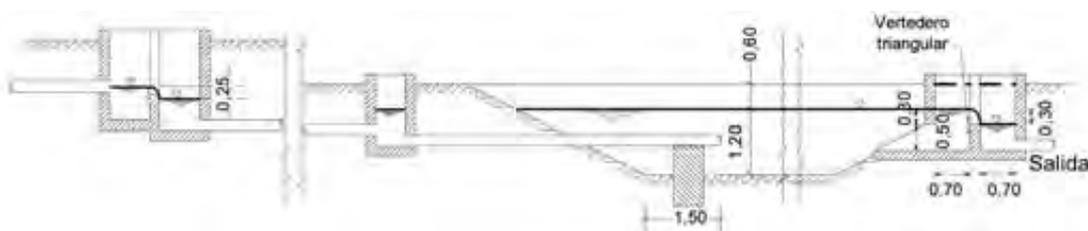


Fig. 4. Detalle. Lagunas de maduración

El objetivo de una laguna de maduración (Fig.4), es la de reducir la contaminación por organismos patógenos, alcanzando valores de remoción de una unidad Log. por cada unidad adicional de tratamiento. Son estanques con una profundidad de 0,5 – 1,50 m, con tiempos de retención de 2 – 7 días. Se prevé una remoción adicional de la DBO del 30% en la primera laguna y de 10 – 20% en la segunda y tercera. El número de lagunas de maduración a considerar puede variar de 1 – 3 unidades, dependiendo de la importancia de la remoción de patógenos y el uso del efluente final a descargar (riego, tipo de producto a irrigar, medio ambiente). Se recomienda que cada laguna se diseñe para un tiempo de retención de 5 días y con una profundidad de 1,20 m.

Reservorios

Los reservorios permiten almacenar los efluentes generados durante la época de lluvias, con tiempos de retención mayores a 100 días, a fin de utilizarlos en el riego

de cultivos durante la época de estiaje, se pueden aplicar en sustitución de las lagunas de maduración para lograr mejores efluentes en términos de reducción de patógenos y su aprovechamiento irrestricto en la agricultura.

Tabla 5. Criterios de diseño. Reservorios

Zona agroecológica	Max. Carga orgánica (kg DBO/ha/d)	Profundidad (m)	Vol. de efluentes almacenados (meses)
Valles Cerrados	4	7 - 9	6
Valles del Norte (Cochabamba)	4	5 - 9	5
Valles Centrales	4	5 - 9	6
Valles del Sur (Tarija)	4	5 - 9	5
Llanos de Santa Cruz	4 - 5	6 - 9	9
Llanos del Chaco	4 - 5	6 - 9	9
Chiquitanía	4 - 5	6 - 8	7

Balance hídrico

En zonas con altas tasas de evaporación y/o percolación, es necesario realizar el balance hídrico de las lagunas, y su impacto en el comportamiento de las lagunas, a fin de tomar en cuenta en el diseño final de las lagunas.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Los componentes constructivos de una laguna de estabilización son los siguientes:

- Terraplenes o diques de almacenamiento
- Estructuras de entrada y salida

Ubicación

La dirección del viento y la máxima exposición al sol son los factores más importantes para la selección del sitio de ubicación de un sistema de lagunas de oxidación. A objeto de facilitar la acción positiva del viento (sentido de salida – ingreso) se deberá prever un área libre alrededor de las lagunas de al menos 100 m.

Una relación 2:1 – 3:1 se recomienda para minimizar los cortos circuitos y garantizar un mejor comportamiento hidráulico.

Para minimizar los impactos ambientales en las poblaciones circunvecinas, las lagunas facultativas se recomiendan estar instaladas a una distancia de 500 – 1000 m respecto a los centros poblados. En el caso de lagunas anaeróbicas las distancias deberán ser mayores.

Diques

Las lagunas de estabilización se construyen procurando que el movimiento de tierras busque un equilibrio entre corte (excavación) y relleno (Diques). El lecho del

estanque debe ser impermeabilizado con material de arcilla o geotextil a objeto de evitar la infiltración de las aguas y mantener constante el tirante de agua. La altura del dique se define por el diseño, a la cual se deberá añadir un borde libre de al menos 0,70 m como protección contra el oleaje producido por la acción del viento. El borde superior del dique debe tener un ancho mínimo de 3,0 m para facilitar la circulación vehicular. Normalmente la pendiente de los taludes del dique no supera la relación 3:1, dependiendo del material del suelo a ser empleado. La protección contra la erosión del agua en los taludes del dique se la realiza colocando una soladura de piedra, baldosas de concreto y/o con plantaciones de césped.

Estructuras de ingreso y salida

A objeto de prever el ingreso de objetos sólidos, se recomienda la instalación de rejas como primera unidad ubicada antes del ingreso a las lagunas. Dependiendo de la cantidad de arena o partículas discretas que puedan ser transportadas por las aguas residuales (alcantarillado combinado, drenaje pluvial), se podrá considerar o no la construcción de un desarenador.

La estructura de ingreso debe contar con una estructura hidráulica de control de caudales durante las 24 horas al día. Se puede emplear un canal Parshall o medir el caudal afluente en las estructuras de distribución donde se emplean vertederos, de tipo triangular y/o rectangular. En pequeñas plantas el caudal afluente se puede canalizar mediante un solo ingreso, ubicado en el centro de la laguna. Para tamaños mayores se pueden emplear múltiples tuberías de ingreso. En todos los casos se deben preferir tuberías sumergidas de ingreso para facilitar una mejor mezcla y reducción de malos olores. Es recomendable la interconexión entre lagunas, para la realización de labores de OyM, mediante la instalación de emisarios que se conectan una laguna con otra.

Cámara de salida

Es una cámara donde se reciben los efluentes finales de todas las lagunas de estabilización y desde la cual se descarga, mediante un emisario, para su reuso o disposición final.

Costos de inversión

En sistemas pequeños a medianos (hasta los 10 000 habitantes) los costos de inversión de las lagunas de estabilización fluctúan entre los 10 – 20 U\$S / cápita sin considerar el costo de adquisición de los terrenos.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La operación y mantenimiento de las lagunas de estabilización requiere de tareas sencilla, las mismas que pueden llevarse a cabo por personal que ha recibido un grado mínimo de entrenamiento, que contemple una capacitación adecuada y se les provea de materiales, manuales y guías correspondientes. El número de operarios necesarios para la operación rutinaria de las lagunas de estabilización depende del tamaño y número de unidades de que se compone el sistema. Las principales tareas de OyM se indican en la Tabla 6.

Tabla 6. Actividades principales de operación y mantenimiento

Actividad	Acciones Claves
Retiro del material sólido en las rejas.	Limpieza diaria del material retenido en las rejas de la planta y su disposición final.
Retiro de material fino, grueso, presentes en el desarenador.	Limpieza periódica del desarenador retirando las partículas sólidas acumuladas (dependiendo de la cantidad de arena, gravilla, que contengan las aguas residuales).
Lectura de niveles en los vertederos triangulares y otras estructuras de medición de caudales (Canal Parshall).	Registro diario de en la libreta de control de caudales. Para pequeños sistemas se podrá reducir la periodicidad a una vez por semana.
Verificación del secado y/o rebalse de las diferentes lagunas.	Inspección visual de los niveles del agua, máximos y mínimos en las diferentes épocas del año, de estiaje y de lluvias. Revisión de la estructura de distribución de caudales, filtraciones en diques, condiciones de evaporación, percolación, precipitaciones, etc.
Limpieza de hierbas, arbustos, malezas y otras plantas que puedan facilitar la reproducción de mosquitos y otros insectos.	Corte y retiro de plantas y arbustos en taludes internos y externos de las lagunas así como de las áreas verdes de la planta. Aplicar la desinfección si es necesario.
Retiro del material flotante y espumas.	Limpieza regular de flotantes en las lagunas facultativas y de maduración. Estos residuos se ubican generalmente en las esquinas de los estanques.
Remoción de lodos de las lagunas primarias.	Control de lodos, retiro y disposición sanitaria de los mismos de acuerdo a las previsiones del estudio (cuando el nivel de lodos alcance al menos 1/3 de la profundidad de la laguna). Tratamiento de lodos y/o enterramiento.
Remoción de lodos de las lagunas secundarias.	Control de lodos, retiro y disposición sanitaria de los mismos de acuerdo a las previsiones del estudio, cada cinco o diez años (cuando el nivel de lodos alcance al menos 1/3 de la profundidad de la laguna), dependiendo de las condiciones locales.
Control de niveles en las lagunas.	Regulación de caudales en los vertederos de ingreso y salida de las lagunas.
Inspección de cercas	Revisión sobre el estado de las cercas y su conservación.
Control de diques o terraplenes	Verificación de asentamientos, filtraciones o fugas en los taludes, sistema de protección contra la erosión, etc.

RESUMEN DE RIESGOS

La Tabla 7 detalla los riesgos asociados que deben tenerse en cuenta para el diseño de estos sistemas.

Tabla 7. Riesgos asociados

Evento	Peligro Asociado	Causa	Medidas Preventivas
Descarga directa del efluente de las lagunas al medio ambiente (suelo, cuerpos de agua).	Contaminación microbiológica y fisicoquímica de cuerpos de agua, suelo, acuíferos. Contacto humano con los efluentes.	Carencia de un tratamiento terciario de los efluentes o baja capacidad de dilución del cuerpo de agua. Ausencia de control de calidad de los efluentes.	Tratamiento terciario: lagunas de maduración, desinfección ultravioleta, campos de infiltración, reservorios. Control y monitoreo de efluentes y evaluación de impacto.
Reuso irrestricto de efluentes de las lagunas de la estabilización en la agricultura.	Contaminación microbiológica de cultivos. Impacto en la salud pública por consumo de productos contaminados.	Reuso de efluentes sin tratamiento terciario y sin control sanitario.	Reuso controlado en determinado tipo de cultivos de acuerdo a la calidad del efluente. Diseño de un tratamiento terciario en función a tipo de cultivo aplicado, desinfección.
Producción de malos olores.	Rechazo de la comunidad.	Generación de olores sépticos en las lagunas anaerobias. Proximidad de urbanizaciones sin respetar los retiros establecidos.	Captación de gases en lagunas anaerobias, inclusión de lagunas aireadas, ampliación de más unidades de lagunas anaeróbicas.
Presencia de mosquitos y vectores.	Reproducción de vectores de enfermedades transmisibles.	Mala operación de la planta, ausencia de tareas de limpieza y control de vectores.	Cumplimiento de las tareas de OyM, fortalecimiento institucional de la EPSA. Educación ambiental.
Acceso irrestricto a las lagunas.	Riesgo de accidentes por ahogamiento y/o contaminación por contacto directo de la población con las aguas residuales.	Carencia de verjas o cercas de protección.	Construcción, rehabilitación o reconstrucción de cercos de protección. Acceso controlado del público.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

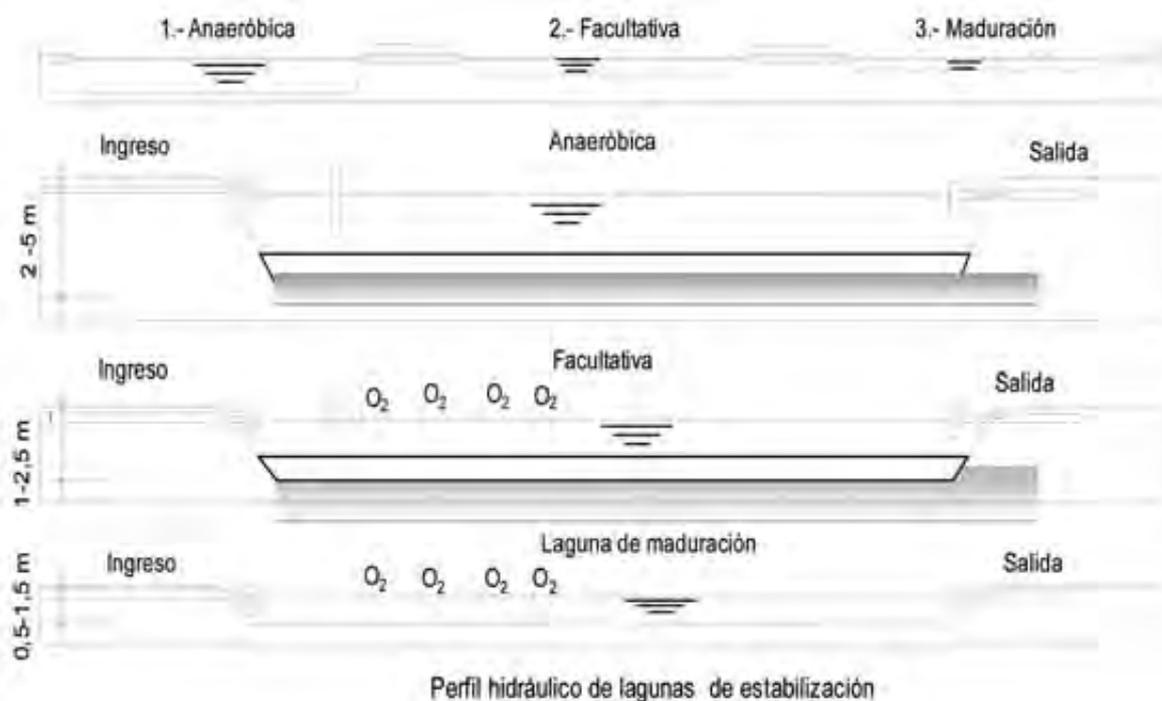
Ventajas	Desventajas
<p>Es la solución más económica de tratamiento de aguas residuales para localidades pequeñas, medianas y grandes.</p> <p>Elevada reducción de la DBO y sólidos suspendidos. Remoción de 2 – 3 Unid. Log. de microorganismos patógenos (bacterias, parásitos (helmintos) y virus, etc.), pueden lograrse mayores remociones si se emplean mayor número de lagunas de maduración y/o reservorios.</p> <p>Bajos costos de O&M, puede ser construido y reparado con materiales locales disponibles. No se requiere el empleo de equipos mecanizados ni consumo de energía, ni personal especializado.</p> <p>Los efluentes pueden ser utilizados en la agricultura, dependiendo del tipo de cultivo a destinarse (productos que se consumen crudos, cocidos, pasturas, etc.).</p>	<p>Requiere de superficies grandes, dependiendo de la zona, mayor en el Altiplano y Valles que en la zona de los Llanos y el Chaco.</p> <p>Riesgo potencial de presencia de malos olores en las lagunas anaeróbicas.</p> <p>Requiere de un área de seguridad bastante grande que mantenga la distancia con relación a los centros poblados.</p> <p>Elevado riesgo en la salud pública por la descarga directa de los efluentes al medio ambiente y/o reuso indiscriminado.</p>

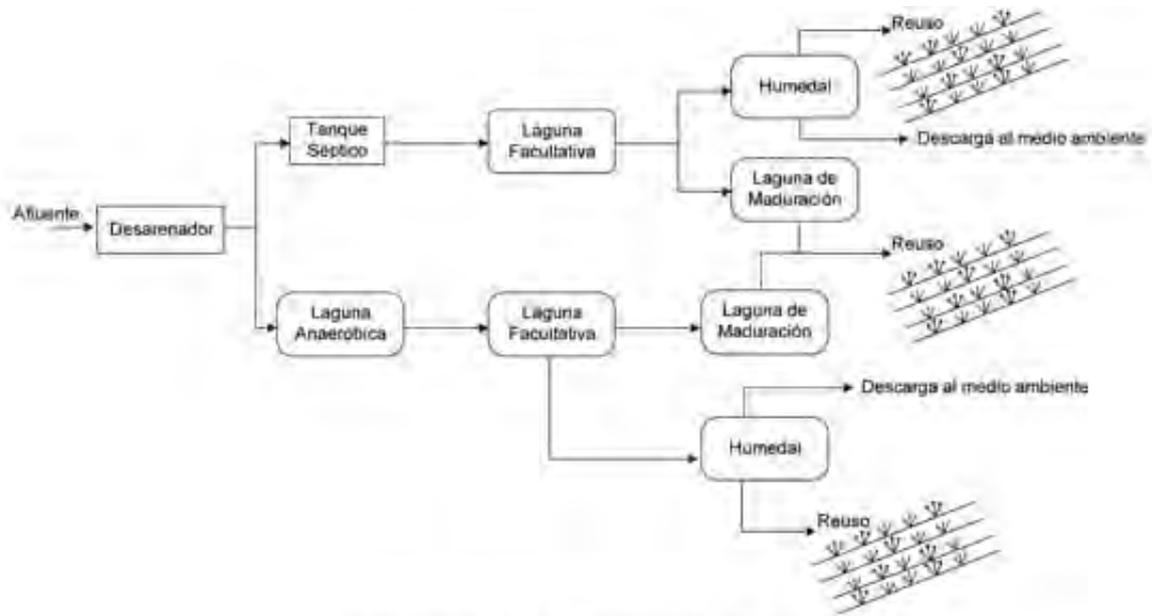
REFERENCIAS

- Marcelo Juanicó y Haim Weinberg; **Diseño del Proceso de Lagunas de Estabilización a Diferentes Altitudes para las Condiciones de Bolivia**. Ministerio de Urbanismo y Vivienda, 1995.
- Fabian Yañez; **Lagunas de Estabilización**, Diseño, Evaluación y Mantenimiento. Cuenca – Ecuador, 1993.
- Rodolfo Sáenz Forero; **Launas de Estabilización y Otros Sistemas Simplificados para el Tratamiento de Aguas Residuales**, CEPIS, 1985.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

ANEXOS





Alternativas de tratamiento de aguas residuales