



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

TECNOLOGÍAS APROPIADAS PARA
ABASTECIMIENTO DE AGUA Y SANEAMIENTO EN LA
ZONA ANDINA PARA POBLACIONES RURALES Y
AISLADAS.

Alumno: Iñaki Leache Setuain

Tutor: Vicente Senosiain Miquelez

Pamplona, 03 de mayo de 2013

Tecnologías Apropriadas para
abastecimiento de Agua y Saneamiento
en la Zona Andina para poblaciones
rurales y aisladas.

Agradecimientos

Antes de comenzar el manual me gustaría agradecer rápidamente a todos aquellos participantes en el proyecto, desde los distintos financiadores, haciendo hincapié en la Universidad Pública de Navarra por brindarme la posibilidad de realizar este proyecto en una estancia de 6 meses en Perú, a Ingeniería Sin Fronteras, por ser el coordinador del proyecto y la entidad que va a realizar el manual de tecnologías apropiadas y a todas aquellas organizaciones que han aportado su conocimiento en las distintas partes del proyecto, desde entrevistas personales, documentación, conocimientos etc., CARE Perú, Soluciones Prácticas, Instituto cuencas, AIN, Grufides, .. No me olvido que detrás de estas organizaciones existen personas que me gustaría nombrar como Pau Lillo, Laura Lucio, Ney Díaz, Gilberto, Mireia, Antenor, Bertha...

También quería agradecer a mis amigos y amigas por haberme apoyado en todo momento mientras la realización de este proyecto, a todos aquellos que me acompañasteis durante mi estancia en Cajamarca, por el apoyo brindado cuando este fue necesario y en especial también a mi familia por su apoyo incondicional.

No me gustaría dejar de mencionar a Vicente Senosiain que en calidad de tutor me acompañó durante todo el proceso resolviendo las dudas que se generaban.

Resumen

En las siguientes líneas podremos leer parte de un manual de tecnologías apropiadas ubicado en el contexto rural andino, con un formato adaptado a un proyecto final de carrera. El objetivo del manual es más amplio de lo que estas líneas describen, las cuales, se centran en la parte de abastecimiento de Agua y Saneamiento.

En el texto que viene a continuación se describen las tecnologías más importantes utilizadas en las zonas rurales de la cordillera andina para el abastecimiento de Agua y Saneamiento. Se trata de tecnología apropiada ya que otra no podría ser aplicable debido a las peculiaridades de la misma. Entre ellas se analizarán las distintas estructuras para el abastecimiento de agua, distintos tipos de letrinas y un sistema para el tratamiento de aguas grises.

También brevemente haremos hincapié en uno de los aspectos más novedosos del manual. Los enfoques transversales a tener en cuenta en la construcción de los distintos proyectos. Esta parte se escapa al objetivo de este texto pero es la novedad del manual y creo importante explicar de forma breve los distintos enfoques en los que se basa el manual e ISF intenta aplicar en sus proyectos.

El objetivo del mismo es crear un material en el que los propios pobladores, ayuntamientos, financiadores etc. y cualquier otro actor dispuesto a realizar una construcción en la zona, pueda acceder y apoyarse en él para elegir la opción que más se ajuste a sus opciones y necesidades.

La lectura del mismo al estar dirigida a casi cualquier actor no es excesivamente técnica y se ha intentado que sea una lectura fácil para cualquier persona esto se debe a que en muchos casos, por lo peculiar del contexto zonal, las personas que resultan beneficiarias de estos proyectos no tienen los conocimientos suficientes como para leer un manual con un lenguaje técnico.

Índice

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.....	2
Agradecimientos	3
Resumen.....	4
Índice.....	5
Índice Tablas.....	7
Índice Figuras	8
1.- Introducción.....	10
1.1.- Metodología.....	11
1.2.- Motivación	12
1.3.- Información general.....	13
1.3.1.- Contexto andino.....	13
1.3.2.- Contexto ISF	14
1.3.3.- Bondades del manual.....	15
1.3.4.- Para quien va dirigido	16
1.4.- Enfoques de trabajo.....	17
1.4.1.- Enfoque de desarrollo basado en DDHH	17
1.4.2.- Enfoque de Tecnologías Apropriadas.....	18
1.4.3.- Enfoque de Capacidades.....	20
1.4.4.- Enfoque de participación	21
1.4.5.- Enfoque de género.....	22
2.- Manual tecnologías apropiadas	23
2.1- Tecnologías Apropriadas en Sistemas de Agua y Saneamiento	24
2.1.1.- Tecnologías para el abastecimiento de agua.....	25
2.1.1.1.- Generalidades de un sistema de abastecimiento de agua	25
2.1.1.2.- Estructura de una instalación de abastecimiento de agua.....	27
2.1.1.2.1.- Captación de agua.....	29
2.1.1.2.2.- Línea de conducción	52
2.1.1.2.3.- Tratamiento del agua	58
2.1.1.2.4.- Depósito de almacenamiento.....	79
2.1.1.2.5.- Distribución final	85
2.1.2.- Tecnologías para el saneamiento	91
2.1.2.1.- Jardineras biológicas.....	91

Principio general de funcionamiento	91
Instalación típica	92
Opciones técnicas.....	97
Operación y mantenimiento	98
2.1.2.2.- Letrinas.....	101
2.1.2.2.1.- Letrina hoyo seco	104
2.1.2.2.2.- Letrina ecológica seca	115
2.1.2.2.3.- Letrina de arrastre hidráulico	125
Referencias bibliográficas	133

Índice Tablas

Tabla 1: Costos unitarios captación en ladera [77].	37
Tabla 2: Costos unitarios válvula de control [77].	37
Tabla 3: Comparativa costos por impermeabilización y capacidad del micro depósito.	50
Tabla 4: Comparativa costos por estructuras adicionales y capacidad del micro Depósito	51
Tabla 5: Costos unitarios línea de conducción [77].	56
Tabla 6: Costos unitarios tubo rompe presión [77].	56
Tabla 7: Costos unitarios cámara rompe presión [77].	56
Tabla 8: Costos unitarios válvula de purga [77].	56
Tabla 9: Costos unitarios válvula aire [77].	57
Tabla 10: Costos unitarios reservorio [77].	84
Tabla 11: Costos unitarios caseta de válvulas [77].	84
Tabla 12: Cuadro comparativo red abierta y cerrada.	88
Tabla 13: Costos unitarios de la red de distribución [77].	90
Tabla 14: Costos unitarios de un lavadero y un escurridor [77].	90
Tabla 15: Prueba de filtración y tipo de suelo.	103
Tabla 16: Costos unitarios letrina seca [77].	114

Índice Figuras

Figura 1: Cierre mediante perno en las tapas metálicas.....	27
Figura 2: Tapa metálica con pasadores de las estructuras de abastecimiento de agua.....	27
Figura 3: Sistema de abastecimiento de agua con sus componentes.....	28
Figura 4: Estructura interior de un sistema de captación de manantial [77].....	32
Figura 5: Captación de manantial con sus componentes [49].....	33
Figura 6: Manantial de ladera [2].....	34
Figura 7: Manantial de fondo [2].	35
Figura 8: Esquema de una galería filtrante [53].....	38
Figura 9: Ejemplo de galería filtrante simple [2].....	39
Figura 10: Ejemplo de galería filtrante con amplia superficie de captación [2].....	40
Figura 11: Esquema de la construcción de una galería filtrante [7].	41
Figura 12: Esquema de una captación de agua de lluvia [52].....	43
Figura 13: Distintas partes del micro reservorio [45].....	46
Figura 14: Micro Depósito con desarenador [45].	47
Figura 15: Estructura cámara rompe presión.	53
Figura 16: Tubería rompe presión [77].	54
Figura 17: Cámara rompe presión sin cámara de válvulas.....	55
Figura 18: Esquema biofiltro de arena [49].....	59
Figura 19: Ejemplo kit análisis de agua [54].....	60
Figura 20: Estructura para la sedimentación y la flotación.....	61
Figura 21: Esquema de un sedimentador [2].	63
Figura 22: Ejemplo tanque de sedimentación [4].	64
Figura 23: Filtro lento de arena [49].	66
Figura 24: Esquema de un filtro de mesa [49].	68
Figura 25: Esquema biofiltro de arena [49].....	71
Figura 26: Esquema filtro de bioarena.....	72
Figura 27: Filtro de bioarena para la remoción de arsénico.	73
Figura 28: Ejemplo funcionamiento desinfección solar [56].....	77
Figura 29: Depósito de hormigón armado con tapa metálica.	79
Figura 30: Esquema del Depósito con la tubería de ventilación.....	81
Figura 31: Esquema depósito con tubería de entrada conectada a la de rebose [77].	82
Figura 32: Tubería de entrada sale por la de rebose [77].	83
Figura 33: Tubería de entrada sale por la de rebose [77].	83
Figura 34: Esquema de una red abierta.	86
Figura 35: Esquema de una red cerrada.	87
Figura 36: Pileta pública o privada.	89
Figura 37: Partes de un biofiltro [17].	92
Figura 38: Esquema de la trampa de grasas [58].	93
Figura 39: Esquema y partes del biofiltro [16].	94
Figura 40: Tuberías de distribución en entrada y salida del biofiltro [17].	96
Figura 41: Salida del biofiltro con tubo flexible [59].	96
Figura 42: Esquema de un tanque Imhoff [9].	98
Figura 43: Esquema de un tanque séptico [60].....	98

Figura 44: Letrina de hoyo seco con tubería de ventilación.	101
Figura 45: Estructura de una letrina seca [61].	101
Figura 46: Estructura de letrina de hoyo seco ventilada [62].	105
Figura 47: Distintos tipos de brocales [30].	106
Figura 48: Losa turca con huellas para apoyar los pies.	107
Figura 49: Letrina con zona de ventilación y malla protectora [30].	108
Figura 50: Cabeza de una tubería de ventilación donde se aprecian las perforaciones y la boina que lo protege del agua de lluvia.	109
Figura 51: Tubo de ventilación con malla y techo [31].	109
Figura 52: Esquema letrina de pozo anegado [62].	111
Figura 53: Esquema baño ecológico con trampa para moscas [43].	112
Figura 54: Proceso de cambio de caseta [64].	113
Figura 55: Estructura de letrina ecológica seca [66].	116
Figura 56: Cámaras del proyecto de ISF y Soluciones Prácticas en la comunidad andina de Pucará.	117
Figura 57: Taza separadora de orina y excretas.	118
Figura 58: Taza separadora del proyecto de ISF con Soluciones prácticas en la comunidad andina de Pucara.	119
Figura 59: Urinario del proyecto de ISF con Soluciones Prácticas en la comunidad andina de Pucara.	119
Figura 60: Caseta de letrina ecológica seca [30].	120
Figura 61: Baño ecológico de dos cámaras [43].	121
Figura 62: Letrina ecológica solar [65].	122
Figura 63: Tipos de casetas para letrinas [31].	127
Figura 64: Forma del sifón en el baño de arrastre hidráulico.	127
Figura 65: estructura de letrina de arrastre hidráulico [62].	128
Figura 66: Conexión de un tanque séptico con vivienda.	129
Figura 67: Letrina de arrastre hidráulico con tanque séptico (3) y pozo de infiltración (4) [78].	130
Figura 68: Biodigestor prefabricado [78].	131
- Figura 69: Posibles labores de mantenimiento de una letrina [37].	132

1.- Introducción

En el presente documento trataremos de explicar las distintas tecnologías que existen y se implementan en la Zona Andina para el abastecimiento de las poblaciones rurales y aisladas de un acceso básico al agua y al saneamiento.

El trabajo se enmarca dentro de un manual de tecnologías apropiadas el cual se encuentra todavía en redacción por parte de ISF. Cuenta con otros apartados distintos al del abastecimiento de Agua y Saneamiento. Pero en este punto, cabe destacar, que la redacción de este proyecto final de carrera viene muy condicionada a este manual, ya que consta de una estructura parecida y una redacción que pese a pequeños cambios continúa la línea del manual de tecnologías apropiadas, es decir, se adapta al público objetivo del manual.

En muchos casos puede que nos encontremos con apartados donde las explicaciones parezcan muy simples, vocabulario poco técnico y otros detalles que no concuerden con un proyecto final de carrera. Pero considero que en este caso es totalmente necesario, ya que el trabajo de este manual por mi persona ha consistido en elaborar esta parte de manual de acuerdo a como va a ser esté y adaptando el lenguaje, contenido, estructura... a lo que consideramos oportuno en la elaboración del manual.

En los siguientes apartados de la introducción analizaremos otras circunstancias que han rodeado la elaboración del proyecto final de carrera y el manual. Entre ellas veremos la metodología empleada, la motivación y la información general del manual.

1.1.- Metodología

Para la elaboración de la parte del manual sobre Agua y Saneamiento en Cajamarca, Perú, tuve que pasar un proceso de selección que consistió en unas 47h lectivas de clase, donde se nos introdujo en torno a la cooperación al desarrollo, derechos humanos, situación mundial etc. A la postre, esto nos ayudaría en nuestra estancia, así como en mi caso personal, en la elaboración del manual y la fase de entrevistas personales.

Una vez seleccionado, me puse en contacto con las personas que guiarían mi estancia y proyecto en la zona y desde aquí como los primeros meses allá empezamos a trabajar en el contexto, proyectos, documentación y formación en la temática de Agua y Saneamiento. Una vez terminada esta primera fase comenzamos a estructurar la parte que yo realizaría el manual y a esquematizarlo junto con el equipo de trabajo.

Comenzamos a trabajar sobre distintos textos y documentación vinculada al tema que se trabaja en el manual. Conforme avanzaba el tiempo íbamos elaborando el documento dejando para el final la fase de entrevistas personales a distintos actores y organizaciones, así como la visita de distintos proyectos relacionados con la temática en la zona en la que me encontraba.

A la vuelta de la estancia en Cajamarca, teníamos un documento que iba a servir de base para la parte de Agua y Saneamiento del manual, este era más extenso de lo que se llegará a publicar en el manual, ya que por los objetivos del mismo no debería de ser muy extenso.

Este texto fue la base de la memoria que aquí presento y que se vio completada tanto en la elaboración del contenido, formato e incluso con cambios en la estructura del mismo, con el objetivo de adaptarlo al proyecto final de carrera.

En definitiva, se trata de un proyecto con un trabajo teórico importante de recopilación, revisión y elaboración de material y con una parte práctica de visitas y entrevistas a los distintos actores y proyectos que trabajan en el abastecimiento de Agua y Saneamiento desde el enfoque de tecnologías apropiadas.

1.2.- Motivación

Una vez terminada la parte más lectiva de la carrera de Ingeniería Técnica Industrial especialidad Mecánica (ITIM) en la Universidad Pública de Navarra (UPNA), llega la hora de realizar el Proyecto Final de Carrera (PFC) y de aplicar los conocimientos adquiridos en un proyecto.

En mi caso, durante mi vida universitaria, no he tenido la posibilidad de disfrutar de una estancia en el extranjero que ayudase a completar mi formación tanto universitaria como personal.

Aparte, la gran mayoría de asignaturas son puramente técnicas y se les brinda poco contenido social. Esto hizo que desde el 2010 me uniera como voluntario a Ingeniería Sin Fronteras (ISF) donde pude comprobar que, efectivamente, la tecnología no iba desligada de un uso social, si no que esta era la herramienta.

Estos dos factores hacen que empiece a pensar en realizar un proyecto social en el extranjero donde pueda aplicar parte de mis conocimientos. Es en ese punto cuando me entero del programa que la UPNA ofrece a los estudiantes para realizar una estancia de cooperación al desarrollo. Entro a formar como candidato y después de pasar la formación y la fase de entrevistas quedo seleccionado como beneficiario de la beca que me brindará la posibilidad de realizar el proyecto final de carrera en torno a la cooperación al desarrollo en una estancia en el extranjero.

En mi caso el destino fue Cajamarca, Perú, y la participación en la elaboración del manual de tecnologías apropiadas de donde nace este documento. Aparte también tuve la posibilidad de participar activamente en los proyectos de cooperación que se están llevando a cabo en la ciudad mencionada, no con una tarea concreta pero si como miembro del equipo de trabajo.

Doy las gracias de poder haber disfrutado de este proyecto final de carrera que unía mis inquietudes y de haber podido aportar mi granito de arena mediante este manual y las tareas realizadas en Perú.

1.3.- Información general

A continuación analizaremos el contexto de este manual, donde se sitúa, como nace y cuáles han sido los principios que han sustentado la elaboración del futuro manual.

1.3.1.- Contexto andino

El manual se ubica en la Zona Andina de los países de Bolivia, Perú y Ecuador que es donde ISF lleva trabajando desde el año 2005. En este contexto, me gustaría puntualizar que toda la información que en el manual se da se puede trasladar a cualquier otra zona con características similares.

La Zona Andina, es una de las cordilleras más grandes y altas del mundo, es posible encontrar a familias viviendo incluso a más de 4000 metros de altura. Pero una de las peculiaridades de esta zona, es que desde los 2000 metros, que podemos considerar ya una altura considerable, hasta los 4000 aproximadamente, es una distancia muy amplia en la que el paisaje, la naturaleza y los recursos varían mucho. Por lo tanto es importante antes de hacer cada proyecto analizar bien cada una de las zonas en las que dicho proyecto se desarrollara.

Una de las cosas en común en toda esta zona, es el escaso acceso a los recursos básicos con los que cuentan muchas de las comunidades y familias allá presentes, teniendo un muy difícil acceso a los recursos energéticos y acuosos. Paradójicamente es en estas zonas altas donde se concentran gran parte de las reservas de petróleo y gas natural de Latinoamérica además del potencial de energía hidroeléctrica.

El aislamiento es otro de los factores comunes y que tiene unas consecuencias graves. Las grandes distancias a los centros poblados, hace que sea todavía más difícil poder acceder a ciertos recursos. El aislamiento también hace mella en el abastecimiento de energía y agua debido a que estas zonas no están sujetas a un sistema común por ser muy costoso llevar agua y energía hasta esas viviendas, limitando el pleno disfrute de los pobladores con respecto a los recursos anteriormente mencionados. El aislamiento y la distancia entre las viviendas, hacen que sea difícil plantearse proyectos comunes a muchas viviendas sin cambiar el sistema social y cultural de la Zona Andina.

Los escasos ingresos familiares normalmente que provienen de la agricultura o ganadería, es difícil llegar a unos ingresos mínimos. Por ello, muchos pobladores deben de inmigrar en busca de trabajos en explotaciones grandes durante un tiempo grande todos los años.

Si unimos todos estos aspectos, hacen que la cordillera andina sea una de las zonas más pobres del planeta donde es necesario plantearse proyectos adaptados a la zona, que sean proyectos descentralizados, para que a la vez que caminamos hacia un desarrollo no cambiemos su cultura y sociedad, que llevan desarrollando a lo largo de los siglos.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

1.3.2.- Contexto ISF

Desde el año 2005, Ingeniería Sin Fronteras (ISF) ha llevado a cabo el Programa Andino de Electrificación Rural y Acceso a las Energías Renovables (PAER). El objetivo de este programa, era aportar elementos que contribuyan a superar las barreras que impiden o frenan el desarrollo energético rural en la Zona Andina, la mejora de la calidad de vida de la población andina y en consecuencia el Desarrollo Humano en todas sus dimensiones.

Estas barreras al Desarrollo Humano, no se presentan en la zona únicamente por la falta de acceso a la energía, sino también por la presencia y presión sobre las comunidades de importantes explotaciones mineras y energéticas. Estas dos eran las principales líneas de actuación de ISF en los tres países donde tiene presencia, Ecuador, Perú y Bolivia pero sin dejar de lado el desarrollo humano de los habitantes de las zonas de impacto.

Muchos son los proyectos que se han realizado desde el 2005, entre ellos un centro de Demostración y Capacitación en Energías Renovables (CEDECAP) con la idea de crear una alternativa de capacitación en Perú y Latinoamérica.

En el año 2009, se inicio una segunda fase del Programa Andino de Electrificación Rural y Acceso a las Energías Renovables (PAER II). Desde entonces muchos han sido los proyectos, las contrapartes, y los distintos actores con los que ISF se ha relacionado para llevar a cabo todas estas tareas.

En esta construcción, es cuando surge la idea de realizar un manual que recopile todos los conocimientos adquiridos por ISF a lo largo de estos años, que refleje la evolución de los proyectos, las políticas llevadas a cabo con todos los actores participantes y que pueda servir no solo de recopilación de experiencias si no como guía para que los propios ciudadanos de la Zona Andina puedan ser verdaderos participantes del cambio y puedan apoyarse en él para realizar sus proyectos.

Como se explica en el párrafo previo, el manual surge de la idea de realizar algo diferente a un manual técnico aportando una visión más social, cultural y política que solo la parte técnica y también para que sirva como manual recopilatorio de las tecnologías apropiadas que se encuentran a nuestro alcance. Es decir, el manual va a ser el resultado de la experiencia de ISF, en la construcción que desde el 2005 viene realizando de en la Zona Andina, uniendo la parte técnica, social y cultural de la zona.

El manual, también incluirá una parte del modelo de gestión que ISF ha utilizado en sus distintos proyectos para la organización de las comunidades beneficiarias. El modelo de gestión pese a ser único en cada comunidad puede seguir unas líneas comunes que es de las que tratara el manual.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

1.3.3.- Bondades del manual

Desde el 25 de julio del 2010 las NNUU incluyo el Agua y Saneamiento como un derecho humano que paradójicamente no se contemplaba como tal. La implicación de esto, es que oficialmente toda persona tiene derecho al acceso a una cantidad mínima de agua diaria y a un saneamiento básico ya que contribuyen a la realización de todos los DDHH.

El acceso al Agua y Saneamiento implica lo siguiente:

- Suficiente y continuo: Entre 50 y 100 litros por persona y día.
- Saludable: El agua debe de ser potable.
- Aceptable: Color, olor y sabor aceptables, respeto a la cultura, sociedad y privacidad.
- Físicamente accesible: Fuente de agua a menos de 1000 metros y no más de 30 minutos de viaje.
- Asequible: El coste del agua no debe de superar el 3% de los ingresos del hogar.

Al igual que el abastecimiento de agua también es importante el saneamiento. Los malos hábitos de saneamiento en muchas ocasiones implica la contaminación del agua y de ello nacen muchas de las enfermedades que a la postre, pueden llegar a ser causa de muerte.

Este acontecimiento, implica un impulso al trabajo que desde años atrás se viene haciendo en torno a estas dos líneas. Debido a este trabajo se presenta en el manual distintas tecnologías que nos puedan servir a la hora de elegir un sistema u otro.

Aparte de los sistemas en el manual, se verá reflejado, unas líneas políticas que junto al objetivo de las instalaciones hacen del manual una guía muy importante para reducir los problemas gestionarlos, que no fracasen una vez terminado y sobre todo, una ayuda para que las personas se conviertan en actores principales de sus propios cambios implicándose en los proyectos y aumentando sus capacidades para que puedan ser ellos dueños de sus futuros.

1.3.4.- Para quien va dirigido

Se trata de un manual para la Zona Andina y rural y principalmente a los habitantes de esta zona es a quien va dirigido este manual. Se trata de un manual sencillo, sin muchos detalles técnicos y con una lectura que pueda facilitar la comprensión del mismo. Se explican las diferentes formas de conseguir lo que uno se propone adaptando las tareas a las características de cada zona. También se intenta abordar el resto de temas relacionados con la construcción de una instalación como pueden ser, el sistema de tarifas, la organización vecinal y la implicación de los distintos actores.

Este manual aparte de los pobladores también puede resultar muy útil a las propias municipalidades y técnicos de las mismas para orientarse en la elección de un proyecto u otro, dependiendo de las características de la zona a implantar el proyecto.

1.4.- Enfoques de trabajo

Durante todo el proceso de trabajo en la Zona Andina por parte de ISF, así como en otros lugares donde existen proyectos, se ha ido evolucionando, aprendiendo y compartiendo con todos los actores que nos hemos encontrado en nuestro camino.

Prueba de ello es el cambio de políticas de trabajo que ISF ha tenido desde su fundación. En un principio se trataba de un trabajo directo, para intentar erradicar la pobreza extrema con tecnología importada desde los países económicamente desarrollados. Estas políticas han sufrido cambios a lo largo del tiempo, las cuales analizaremos según los distintos enfoques que ISF intenta implementar en todos sus proyectos y que en opinión del redactor, dan a la tecnología un enfoque distinto al que se considera de forma general.

1.4.1.- Enfoque de desarrollo basado en DDHH

El enfoque de desarrollo basado en los DDHH, busca transformar las relaciones de poder existentes, corrigiendo las desigualdades, las prácticas discriminatorias y el injusto reparto del poder, por ser estos los principales problemas que obstaculizan el desarrollo.

Con este enfoque se trata de integrar los valores, principios y normas del sistema internacional de derechos humanos en los planes, políticas y procesos de desarrollo.

De esta forma, el enfoque de desarrollo basado en los DDHH, aporta un marco de referencia conceptual para comprender e interpretar la realidad y para orientar los procesos de desarrollo.

Esto implica que:

- El objetivo de desarrollo es la plena realización de los derechos de las personas
- Los DDHH nos marcan las metas a conseguir
- Los valores y principios son las vías para conseguir estos objetivos

Con este enfoque, el ser humano deja de ser considerado un sujeto con unas necesidades que tienen que ser cubiertas y pasa a ser visto como un sujeto de derechos, con poder jurídico y social para exigir al estado ciertos comportamientos y acciones que realizan su exigibilidad y cumplimiento.

Centrándonos en la cooperación al desarrollo, esto implica apoyar a los y las titulares de derechos, obligaciones y responsabilidades para que trabajen conjuntamente, transformen su realidad y así puedan ejercer sus derechos y cumplir con sus obligaciones y responsabilidades. El problema se centra en la transformación de las relaciones de poder [47].

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

1.4.2.- Enfoque de Tecnologías Apropriadas

En muchos casos la cooperación que se viene realizando desde que mediados del siglo pasado, la conocemos como cooperación asistencialista en la que predomina la acción de los cooperantes frente a los beneficiarios. Estos son los que identifican, desarrolla e implantan la tecnología necesaria de forma que se cubran las necesidades previamente identificadas.

Una vez realizado el proyecto, el cooperante suele abandonar la zona dejando allá el proyecto y con el éxito asegurado debido a que se supone que una vez realizado el mismo este ya puede funcionar.

Con el tiempo, se vio que muchos de los proyectos así realizados han fracasado. Esto es debido a muchos motivos, como pueden ser la falta de transferencia de conocimiento, la poca capacidad de los beneficiarios, la no existencia de recursos económicos ni capacidad para solucionar los problemas que puedan surgir a posteriori, la utilidad de la estructura es escasa debido a la cultura local, las prioridades de los beneficiarios o la poca capacidad de los beneficiarios de llevarlo a cabo.

Con el fracaso de muchos de estos proyectos la cooperación ha ido cambiando y ya se está empezando a trabajar de forma distinta. Uno de los enfoques de trabajo aplicadas actualmente es el conocido como tecnología apropiada.

Cuando hablamos de enfoque de tecnologías apropiadas, nos referimos a proyectos que integren ciertas características que acerquen los proyectos a los verdaderos protagonistas del cambio, los pobladores. Ellos son los que tienen que erigirse como agentes de cambio, es decir, ellos son los que tienen que estar en el centro del proyecto siendo la cooperación una herramienta para conseguir los objetivos que los beneficiarios se planteen.

El enfoque de tecnologías apropiadas se define de la siguiente forma:

“Aquella que responde adecuadamente a las necesidades sociales y ecológicas de las personas, que es descentralizada y a pequeña escala, manejable, que emplea fuentes renovables de energía, que es de bajo coste, que fomenta el empleo, que está basada en la comunidad y en relaciones humanas no autoritarias y no-jerárquicas, que libera a las personas de cargas alienantes, permitiéndolas ser más creativas y participar en la comunidad, profundizando así la democracia”.

Y debe cubrir las siguientes características:

- Satisfacer las necesidades humanas básicas.
- Tener calidad técnica.
- Liberar a las personas de tareas duras, de riesgo o rutinarias.
- Contar con la participación creativa de la comunidad destinataria.
- Buscar la apropiación local de la tecnología.
- Buscar la autonomía tecnológica local sin caer en el autarquismo tecnológico.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

- Hacer el mayor uso posible de los recursos locales de conocimiento, humanos, sociales, económicos y tecnológicos.
- Promover y reforzar el papel de las organizaciones locales.
- Asegurar la compatibilidad con la cultura local.
- Bajo impacto ambiental.

1.4.3.- Enfoque de Capacidades

Según Amartya Sen el desarrollo se define como “El proceso de expansión de las capacidades de las personas, de manera que puedan aumentar las oportunidades de las mismas”.

Es decir, para que una persona tenga la capacidad de poder decidir que ser o hacer, debe estar plenamente capacitada previamente y cuantas más capacidades tenga mayor será el rango de oportunidades que tenga para realizar una acción y otra.

Podemos definir capacidad como el conjunto de libertades para llevar a cabo una acción u otra [48].

En el contexto que nos ocupa, el enfoque de capacidades, resulta muy importante ya que cuanto más capaces sean los beneficiarios de los proyectos mayores oportunidades tendrán para poder decir que hacer.

Las capacidades las podemos lograr de muchas formas diferentes, mediante el estudio, la mejora económica, los contactos, los propios conocimientos o compartiendo el mismo, siendo conscientes de los recursos que nos rodean...

En los proyectos, este enfoque resulta muy importante, ya que en consecuencia si conseguimos ampliar las capacidades de los beneficiarios, no sólo el proyecto les proporcionara un beneficio mayor si no que habrán adquirido las capacidades necesarias para solucionar los problemas que puedan surgir, serán capaces de desarrollar sus propios proyectos, serán más conscientes de su entorno etc... en definitiva, podrán elegir que hacer o ser.

1.4.4- Enfoque de participación

El enfoque de participación está muy ligado a los enfoques de desarrollo basados en los DDHH, de tecnologías apropiadas y de capacidades. Aplicando el enfoque de participación, conseguiremos colocar a los beneficiarios en el centro del proyecto siendo ellos los protagonistas del mismo y quienes deciden qué rumbo a de tomar el proyecto.

Los beneficiarios se erigen como actores del cambio, de su propio cambio, transformando su propia realidad. Podrían llegar a ser conscientes de que tienen derechos y exigir a las entidades públicas las responsabilidades que tienen con respecto a cumplir con los derechos de las personas.

Por otra parte, el intercambio de conocimiento con los cooperantes, siendo plenamente conscientes de sus saberes ancestrales, su cultura y sociedad enriquece a todos los actores del proyecto. Aparte, se mejora notablemente la implantación de proyectos ya que disminuye el riesgo de que el proyecto pueda fracasar tanto social, cultural, económica como técnicamente.

Por último, el beneficiario verá ampliadas sus capacidades haciendo efectivo el enfoque de capacidades. Esto dará la posibilidad de optar por las mejores soluciones a la hora de la realización del proyecto, el mantenimiento del mismo, mejorara el uso cotidiano y el impacto de un nuevo proyecto será menor. Así mismo, el usuario será capaz de mantener el proyecto durante su vida útil y tendrá más capacidades para realizar nuevos proyectos una vez terminado este.

En definitiva, la participación activa de los beneficiarios incrementa notablemente las posibilidades de éxito de un proyecto a presente y a futuro [49].

1.4.5.- Enfoque de género

La ciencia y la tecnología han impulsado importantes avances en el último siglo, pero a día de hoy, millones de personas siguen sin tener acceso al agua potable, a la energía o a una soberanía alimentaria en sus territorios. Estas problemáticas, se acentúan en el caso de las mujeres, a quienes el proceso de modernización llevado a cabo en los últimos tiempos las ha situado en una situación de marginalidad y mayor vulnerabilidad respecto a los hombres.

La tecnología no es neutra, y en particular no lo es en cuanto al género, y tiene un fuerte impacto económico, social y cultural allá donde se implanta. Si bien, por sí sola no es la solución, una tecnología correctamente enfocada, una tecnología desde, con y para las personas, y con una perspectiva de género implícita, puede impulsar el desarrollo social y aportar soluciones a los actuales problemas de nuestra sociedad.

En la gran mayoría de situaciones en los países en vías de desarrollo, las mujeres se quedan en el plano reproductivo, en el uso doméstico de los recursos, dejando en manos de los hombres el control y el poder de decisión. Toda esa administración y uso de los recursos aporta un gran conocimiento a las mujeres sobre su manejo y formas de uso, tanto del agua, de la energía como de la tierra, y sin embargo, no participan en su control.

Trabajando desde el enfoque de género, conseguiremos capacitar a las mujeres y conseguir una organización más democrática. Es aquí donde hay que trabajar, debido a que si las mujeres trabajan estos recursos, tendrán que participar en la toma de decisiones sobre su control ya que son las que día a día trabajan sobre estos recursos y por lo tanto las que más conocimiento tienen [81].

2.- Manual tecnologías apropiadas

Después de todos estos años trabajando en la Zona Andina, surge la idea de realizar un documento donde quede reflejado el trabajo de ISF y a la vez pueda ayudar a la población, comunidades, municipalidades y dirigentes en continuar con el trabajo iniciado para cada vez más seguir intentando erradicar la pobreza.

Se vio que resultaba relativamente fácil encontrar manuales técnicos acerca de las temáticas que ISF ha trabajado, como son el abastecimiento de energía, abastecimiento de Agua y Saneamiento o la mejora en las viviendas. Pero la gran mayoría de estos documentos, tiene en común que casi en su totalidad son documentos técnicos y muchos de ellos, carecen de muchos de los enfoques anteriormente comentados y que ISF considera que es de vital importancia que estén presentes en todo proyecto.

Por ello se decidió hacer un manual de tecnologías apropiadas donde se va a intentar combinar desde la parte técnica, necesaria en cualquier instalación, hasta los enfoques de tecnologías apropiadas, capacidades, participación y gestión. Se quiere dar prioridad a estos enfoques antes que a la parte técnica. debido a que es el valor añadido de este manual e incluso se intentará explicar los modelos de gestión que ISF ha adoptado en sus proyectos y que han funcionado, para que estos puedan ser replicables en otros proyectos que se asimilen a los ya realizados.

El manual de tecnologías apropiadas. va a contar con tres partes diferenciadas en las se trataran de explicar lo comentado en el párrafo anterior. Estas tres partes son el abastecimiento de energía, abastecimiento de Agua y Saneamiento y vivienda digna. Las tres formas los ejes que ISF viene trabajando a lo largo de estos años.

En el PFC que presento a continuación solamente trataremos de la parte del abastecimiento de Agua y Saneamiento que es en la que yo he trabajado.

2.1- Tecnologías Apropriadas en Sistemas de Agua y Saneamiento

A continuación, describiremos algunos de los sistemas que más se utilizan en la Zona Andina para abastecer a la población, normalmente rural, de agua potable y de un buen sistema de saneamiento tanto para las aguas negras como las aguas grises. Desde este momento, si no se señala lo contrario, cuando se haga referencia al entorno será el que acabamos de definir nos estaremos refiriendo a los explicado en el contexto (véase punto [1.3.1](#) y [1.3.2](#)). En el apartado de abastecimiento de agua potable conoceremos de más cerca la tecnología utilizada en todo el proceso, captación, línea de conducción, tratamiento del agua, depósito y la distribución final. En cambio en el apartado de saneamiento veremos las jardineras biológicas y las letrinas. Dentro del apartado de letrinas, se analizarán principalmente tres de las múltiples opciones que existen y sus respectivas variaciones técnicas. Los tipos de letrinas que analizaremos son las letrinas de hoyo seco, las ecológicas y las de arrastre hidráulico.

Las instalaciones de abastecimiento de Agua y Saneamiento, tienen como objetivo cubrir las necesidades más básicas del ser humano. Como hemos comprobado anteriormente, la zona de sierra tiene una cobertura de Agua y Saneamiento muy baja, y la imposibilidad de acceder al recurso hídrico y al saneamiento básico es una de las causas principales de la pobreza en las zonas rurales.

Si como se presupone, son zonas pobres en las que se vaya a realizar el proyecto, se debe de tener sumo cuidado en que las tecnologías que se escojan sean las apropiadas, es decir, respetuosas con el medio natural, la cultura y el entorno social y que todo esto no suponga un gasto muy elevado a los usuarios del sistema, que generalmente no dispondrán de recursos económicos.

Para ello, lo ideal sería realizar la estructura con materiales de la zona o los más cercanos y accesibles posible, capacitar a los usuarios para que ayuden en la operación y posteriormente se ocupen de su mantenimiento y funcionamiento, así como realizar todo el proceso junto a la población, la cual, podrá aportar la mano de obra del proyecto. También es importante, que la instalación se acompañe de un proceso de capacitación en higiene que favorezca el buen uso del sistema y que este tenga una larga vida útil.

2.1.1.- Tecnologías para el abastecimiento de agua

En este apartado, describiremos la estructura de un sistema de abastecimiento de agua potable en el entorno definido previamente (véase punto [1.3.1.](#) y [1.3.2.](#)). Veremos las distintas partes de un sistema y analizaremos en la medida de lo posible la estructura, el funcionamiento, el mantenimiento, las distintas opciones técnicas y los costos de una instalación de agua potable.

2.1.1.1.- Generalidades de un sistema de abastecimiento de agua

Existen muchas formas distintas de abastecer de agua a las comunidades, pero en la Zona Andina, principalmente, se debe aprovechar las posibilidades que nos ofrecen el propio terreno y la zona donde se vaya a realizar nuestro proyecto de abastecimiento de agua.

Una estructura de abastecimiento de agua, normalmente, se generara en una altura superior a la de consumo (para evitar la utilización de bombas que incrementen los costos), de donde se extrae el agua. Está, es mejor que venga del subsuelo, ya que suele encontrarse en mejores condiciones y su tratamiento posterior es menor, pudiendo ser domiciliario y reducir de esta forma los costos en el tratamiento del recurso hídrico. Después de la extracción, el agua, por medio de tuberías, desciende hasta un depósito, que servirá de regulador de presiones, y luego se realiza la distribución a cada uno de los hogares y puntos de consumo.

Lo descrito en el párrafo anterior, se trata de la versión ideal, pero en muchos casos la posibilidad de hacerlo de esa forma puede que no exista y tendremos que utilizar otros métodos o condiciones que, principalmente, supondrán un aumento de los costos del sistema tanto iniciales como posiblemente sobre las tarifas de los usuarios si estas existieran.

Respecto a las labores de mantenimiento, son comunes en toda la estructura las siguientes tareas:

- Es importante no situar letrinas, pozos negros, aguas estancadas, corrales o líneas de desagüe en las cercanías de las instalaciones [13]. Sobre todo, de las zonas más sensibles a ser contaminadas como los manantiales, las bocas de río o todo aquel punto en que los objetos mencionados puedan comunicarse con el agua que consumiremos. Los aparatos comentados resultan ser un foco importante de contaminación de agua.
- También es importante revisar la instalación ocasionalmente para buscar desperfectos y grietas. Una vez detectadas procederemos a la reparación de los mismos con los mismos materiales utilizados en su construcción.
- Es importante limpiar los alrededores de las instalaciones, el cerco y las zanjas nos servirán en esta labor, pero igualmente deberemos de limpiar periódicamente los alrededores y también no debemos de dejar que las zanjas se llenen de basura ya que esto dificultara el funcionamiento de las mismas.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

- La corrosión es otro de los problemas habituales a tener en cuenta, cuando lo detectemos deberemos de aplicar pintura anticorrosiva en aquellos lugares donde sea necesario.
- Las tapas de protección de las estructura deben de permanecer cerradas, incluso se puede añadir un dispositivo de seguridad para evitar que la apertura de las mismas sea sencilla. Aparte de esto, también resulta recomendable pintar las tapas con pintura anticorrosiva si estas son de metal.
- En muchas ocasiones, con el paso del tiempo, las válvulas de paso se vuelven duras dificultando su funcionamiento, para mejorar esto, debemos de engrasar las válvulas que se encuentren en mal estado.
- Por último comentar que el cercado de las instalaciones ayudará a que el mantenimiento de estas resulte más sencillo ya que evitaría la entrada constante de personas y animales.

2.1.1.2.- Estructura de una instalación de abastecimiento de agua

En muchas ocasiones, el material habitual para la construcción de las instalaciones, principalmente depósitos, suele ser el hormigón armado, pero en ocasiones y cada vez con más asiduidad se está colocando el ferro cemento, material muy parecido al hormigón que pierde un poco de resistencia pero resulta más barato que el primero.

Otra de las características más habituales de las instalaciones, es que todas aquellas que tienen compuertas, suelen cerrarse con tapas metálicas por medio de pasadores y un cierre con perno (ver figura 1 y 2), que resulta un sistema más barato y seguro que los candados que se usaban antiguamente.



Figura 1: Cierre mediante perno en las tapas metálicas.



Figura 2: Tapa metálica con pasadores de las estructuras de abastecimiento de agua.

Normalmente, los distintos depósitos suelen tener una caja para las distintas válvulas de paso, pero como veremos en los siguientes apartados esto no es totalmente necesario.

Los distintos depósitos a lo largo de toda la estructura, pueden disponer de un grifo que sirve para facilitar las labores de limpieza y desinfección del sistema al que incluso podemos colocar una manguera. De esta forma, también evitaremos que una persona deba de introducirse en el interior del depósito para realizar las labores de limpieza (véase punto [2.1.1.1.](#)).

Aparte de esto y para proteger la instalación, suelen colocarse cercos alrededor de las instalaciones, para evitar la entrada de gente y animales que puedan dañar las mismas.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

También se suelen construir zanjas que dirijan el agua de lluvia y la que pueda descender de las laderas de la montaña, de forma que la estructura no tenga un contacto directo con una gran cantidad de agua que pueda causarle daños.

La instalación, normalmente, suele contar con 5 partes diferentes como podemos ver en la figura 3.

- Captación de agua
- Línea de conducción
- Tratamiento del agua
- Depósito de almacenamiento
- Distribución final

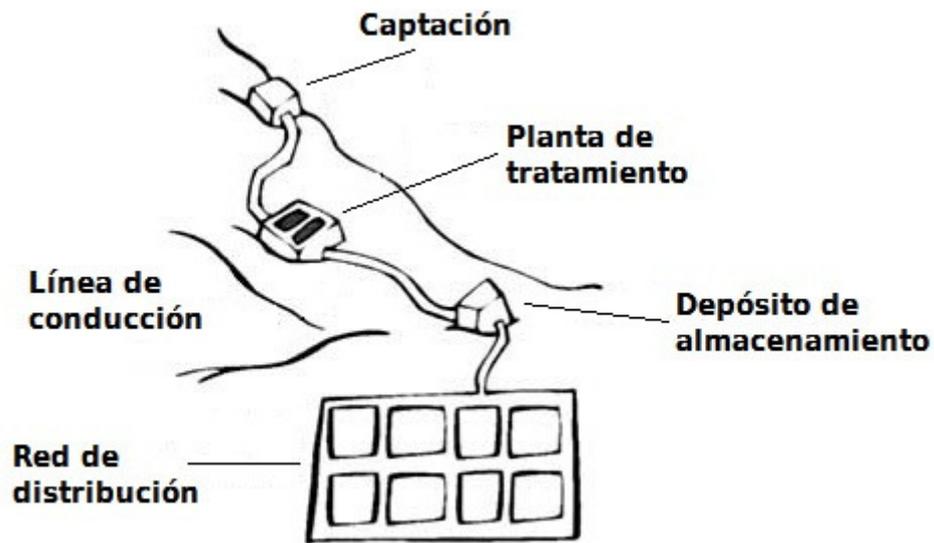


Figura 3: Sistema de abastecimiento de agua con sus componentes

A continuación, analizaremos cada una de ellas para ver cuáles son las características principales de las diferentes partes de un sistema de abastecimiento de agua.

2.1.1.2.1.- Captación de agua

El agua, la podemos encontrar en muchos lugares a nuestro alrededor, como puede ser el agua proveniente del subsuelo, agua que se encuentra en la superficie de la tierra o el agua que cae por efecto de la lluvia. Esta clasificación resulta bastante general, pero dependiendo de la fuente de captación, la tecnología a utilizar es diferente, pese a que en todas el objetivo de la captación es el mismo, aprovechar los recursos hídricos que nos ofrece el medio natural y separar un pequeña cantidad que sirva para nuestros propósitos sin malograr la fuente de agua y almacenarla para que luego inicie su recorrido hasta llegar en condiciones propicias al usuario que lo consuma.

En los siguientes apartados, analizaremos el principio de funcionamiento de un sistema de captación y a continuación describiremos los sistemas y el tipo de instalación según la fuente de agua.

Se trata de un tema muy amplio que no podríamos describir entero en estas pocas líneas, ya que se escaparía del objetivo del manual, por ello se han elegido las formas de captación más habituales en la Zona Andina, por su peculiar medio natural como son los sistemas de captación por medio de manantiales, por medio de galerías filtrantes, por medio de la captación de agua de lluvia y los micro reservorios.

Principio general de funcionamiento

En la captación de agua, deberemos de construir una estructura capaz de extraer y almacenar el agua para que luego pueda ser transportada hasta el depósito o punto de consumo. Es importante, que en la instalación se consideren aspectos para facilitar un control adecuado del agua, como pueden ser la prevención de una futura contaminación, así como aspectos que faciliten la inspección, mantenimiento y operación del sistema, siendo en algunas ocasiones necesario formar a una persona que se ocupe de la instalación, el correcto uso y el mantenimiento de la instalación [38].

La captación, básicamente, consiste en extraer el agua del medio natural ya sea agua de lluvia, agua que se encuentre en la superficie terrestre o agua proveniente de las napas subterráneas. Lo más habitual en la sierra andina es aprovechar los surgentes de agua que vienen de las napas subterráneas, debido a que este tipo de fuentes es muy habitual en la zona y la estructura de la misma es sencilla de construir y mantener y su costo no necesariamente se ve elevado, debido principalmente a que el tratamiento del agua no es muy grande e incluso puede realizarse a nivel domiciliario.

También resulta importante que el uso del agua se regule mediante el caudal ecológico, es decir, dejar siempre que un caudal mínimo siga el curso natural para que la fuente pueda considerarse renovable y no dañemos el medio natural que nos rodea. El caudal mínimo, asegura la supervivencia de la fuente de forma que esta no se agote ya que lo que consumiríamos no superaría nunca la línea en la que el acuífero no pueda regenerarse.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

Para el mantenimiento de las estructuras de captación, da igual la opción que hayamos elegido, debemos de seguir las recomendaciones antes descritas (véase punto [2.1.1.1.](#)) para la instalación de abastecimiento de agua. Cada opción, tendrá unas labores de mantenimiento específicas, pero estas las analizaremos al detallar las distintas opciones de captación [1].

Captación por medio de manantiales

A continuación, veremos cuál es la estructura de una captación de agua por medio de manantial, sus particularidades, las distintas opciones que tenemos y las operaciones y mantenimiento que se derivan de la misma. Para terminar el apartado, haremos una evaluación de los costes que esta instalación puede suponer.

Instalación típica

Una de las fuentes principales de agua en la Zona Andina son los manantiales, estos suelen encontrarse cerca de los lugares de consumo, son abundantes en la sierra andina y normalmente, se pueden encontrar en un punto más elevado al punto de consumo o al depósito para facilitar que el agua pueda transportarse por medio de gravedad. También podrían encontrarse por debajo del punto de consumo, pero esto encarecería la instalación, debido a que deberíamos de elevar el agua por medio de sistemas caros y que necesitan mantenimiento específico por parte de una persona capacitada para ello. Normalmente, esta opción resulta inviable en la zona rural andina debido al contexto (véase punto [1.3.1.](#) y [1.3.2.](#)).

El agua proveniente de los manantiales, tiene la ventaja de que suele ser agua con una muy buena calidad para el consumo humano, ya que no está expuesta a la acción de muchos factores contaminantes y a que es agua que viene del subsuelo. Por lo tanto, la tierra ejerce de filtro natural tanto a la hora de filtrarse en ella como a la hora de aflorar a la superficie. El único inconveniente, es que en ocasiones nos encontraremos con agua que contiene un alto contenido de sales minerales que pueden llegar a cambiar el sabor del recurso hídrico.

El manantial, suele ser agua que en un punto dado de la geografía sale a la superficie desde el subsuelo y es en ese punto donde se realiza la instalación. En el punto de salida del agua y por encima de la capa impermeable de tierra, donde se encuentra el agua, se suelen colocar 3 capas de piedras (gravilla, grava y piedras pequeñas) que sirvan como filtro. También tienen la función de recolectar el agua y dirigirla hasta el orificio de entrada a la cámara. Este filtro de piedras, va dentro de una estructura, normalmente de hormigón o ferro cemento, que sirve de protección del manantial para evitar su contaminación. En la propia estructura, también es habitual colocar un depósito donde se acumule el agua del manantial por medio de unos orificios que conectan ambos.

En la figura 4, podemos observar las diferentes partes del interior de una estructura de una captación de manantial.

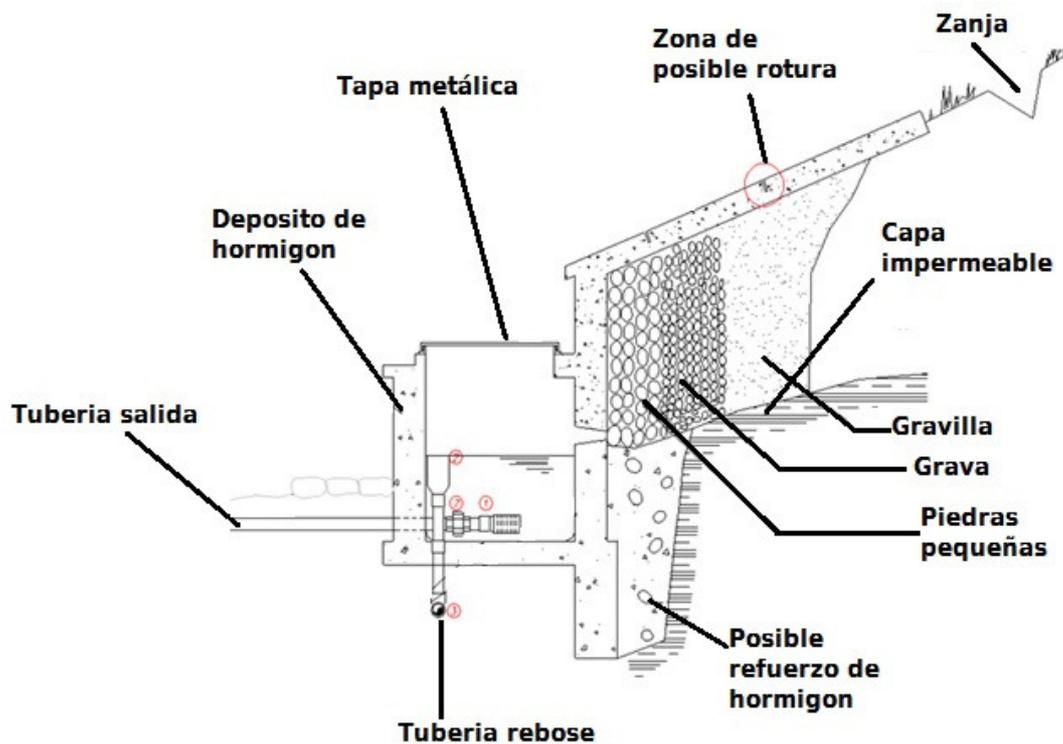


Figura 4: Estructura interior de un sistema de captación de manantial [77]

El depósito, es necesario que cuente con sus válvulas de cierre, tuberías de rebose y tuberías de salida para el agua. Aparte de estos elementos, también se suelen colocar en la captación de manantiales tales detalles como los descritos en apartados anteriores para protección de la instalación y facilitación de las tareas de mantenimiento y operación a realizar en el mismo.

Una de las ventajas de estos sistemas es que dependiendo de la capacidad de los manantiales y la demanda pueden ser instalaciones familiares o comunales.

Normalmente, cuentan con una buena calidad de agua, por lo tanto el tratamiento se reduciría notablemente aunque esto no quiere decir que el agua no esté exenta de tratamiento [38].

En la figura 5, podemos observar las distintas partes de las que puede componerse una instalación típica de protección de manantiales.

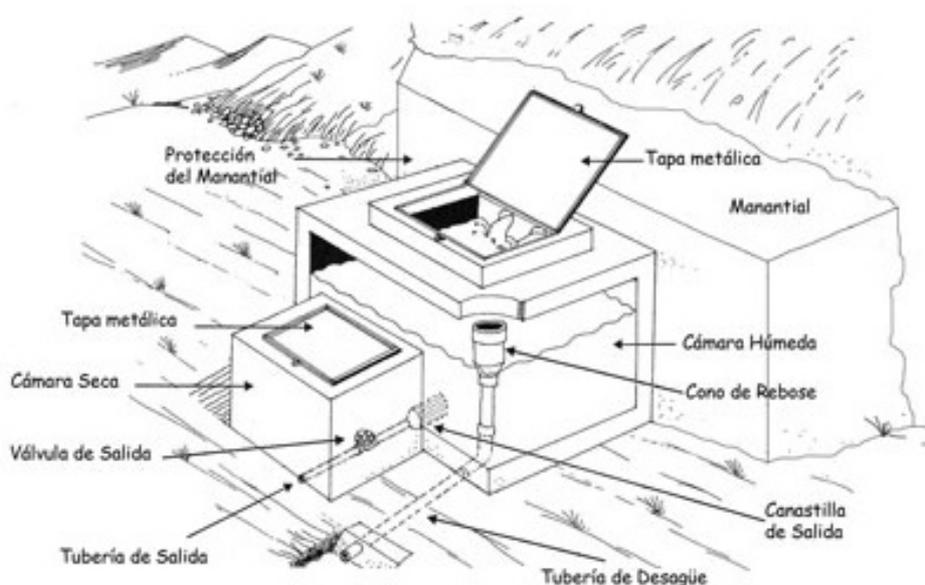


Figura 5: Captación de manantial con sus componentes [49]

La estructura de captación de manantiales, se compone de la captación y protección del afluente para no contaminarlo. A continuación describiremos todas sus partes y funciones de las mismas:

- Cámara húmeda: Se trata de un depósito donde se acumula el agua, puede ir dotado de un grifo que ayude en las labores de mantenimiento y contiene unos orificios donde entra el agua y las tuberías de salida rebose y limpieza.
- Tubería de reboso: Tiene la función de sacar el agua cuando esta llega a una altura considerable y evitar que el depósito se sobrecargue.
- Tubería de limpieza o desagüe: Es de gran ayuda en las labores de mantenimiento del depósito para vaciarlo o limpiarlo una vez realizada las labores.
- Tubería de salida: Tubería por donde el agua iniciara el recorrido por la instalación de abastecimiento de agua.
- Estructura de protección del manantial: De hormigón o ferro cemento tiene la función de proteger el manantial y evitar que este se contamine, va unido al depósito de agua.
- Filtro interior de gravilla, grava y piedras pequeñas: Tiene la función de filtro y de dirigir el agua hasta el orificio del depósito.
- Tapa metálica: Tapa que sirve de cierre del depósito, suele ser de acero inoxidable y un cierre mediante pernos y pasadores.
- Caja de válvulas: No es totalmente necesaria pero contiene las válvulas que regulan el paso por las tuberías.

La cámara húmeda, es un depósito con entrada (agujeros por los que entra el agua del manantial) y salida del agua (tubería de salida) al que se incorpora un sistema para eliminar el agua (tubería de reboso) cuando existe en exceso dentro del depósito y otra tubería (tubería de limpieza) para vaciar el depósito de agua cuando realicemos la limpieza.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

Antiguamente, en vez de una tapa metálica con cierre por medio de pasadores o perno, se utilizaba una pieza de hormigón que encajaba en el hueco destinado a esa tarea. Lógicamente, la tapa metálica, al ser más ligera es más manejable y aparte permite tenerla permanentemente cerrada ya que la tapa de hormigón podía abrirla cualquiera. Por otra parte, en un principio se utilizaron los candados para el cierre de la tapa pero ahora se utiliza más el cierre mediante pasadores por ser más manejable, seguro y menos peligroso para los niños.

Una opción para mayor protección de la instalación es el aporte de pintura, para ello debemos de comprobar previamente la adherencia del mortero a la estructura para que la pintura se pegue bien. También resulta importante proteger, la tubería de rebose o desagüe para que insectos o animales no puedan entrar en la cámara de almacenamiento y contaminar el agua. Para esto, podemos utilizar los cubos móviles [39]. Los cubos móviles se suelen colocar en las tuberías de limpieza, estas son un cubo con un agujero en forma de cilindro que se coloca en la parte final de la tubería de limpieza. El objetivo es evitar la entrada de insectos y animales pero a la vez es móvil, es decir, se tiene que poder quitar para cuando realicemos el mantenimiento del depósito para que el agua, pueda salir por dicha tubería. En las tuberías restantes, lo que se debe de colocar es una red mallada ya que el agua podría salir en cualquier momento como puede ser la de rebose y debería de estar libre de obstrucción alguna.

Opciones técnicas

Existen distintos tipos de manantiales, pero una de sus clasificaciones más reconocidas es la que separa en manantiales de ladera y los manantiales de fondo que surgen desde el piso. Dependiendo de cuál sea el tipo de manantial la tecnología a utilizar es diferente. En ambas estructuras resulta muy importante realizar las tareas descritas en el capítulo anterior (véase punto [2.1.1.1.](#)) para el buen mantenimiento de la estructura, protección de la estructura y colocar los factores necesarios para su mantenimiento.

En ambas estructuras y dependiendo de la distancia del manantial a la primera llave de paso, se podría evitar la colocación de una llave de paso en la salida del manantial, pero solo si la distancia a la siguiente llave no es muy grande. Esto nos evitaría tener que colocar la cámara adyacente que guarde las válvulas de paso en la estructura de protección del manantial.

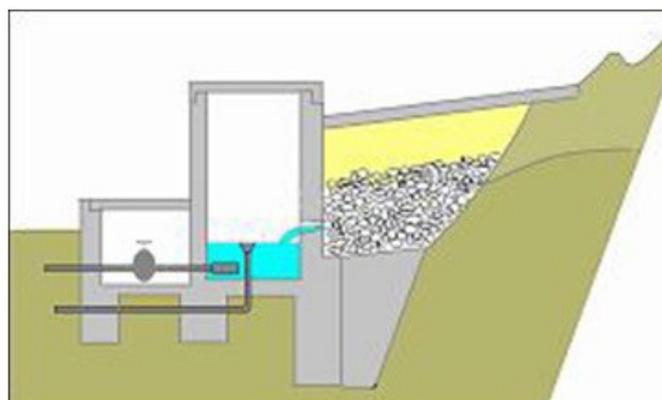


Figura 6: Manantial de ladera [2].

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

El manantial que sale de una ladera (ver figura 6), suele ser una estructura de hormigón que cubre el afluyente de forma que este permanece aislado del ambiente y evita de esta forma la contaminación del acuífero como hemos explicado en el apartado anterior.

En ocasiones, en la propia estructura de protección se suele hacer una parte más débil, de forma que si existe algún problema dentro de la estructura de protección (poco probable), esta se pueda romper fácilmente y acceder al interior para ver y solucionar el problema [38].

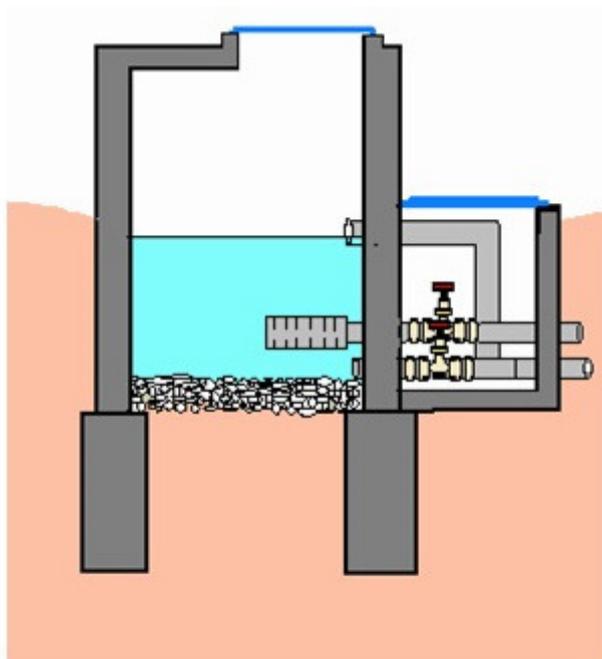


Figura 7: Manantial de fondo [2].

El manantial de fondo en cambio, el agua sale desde el piso hacia arriba. En estos casos se coloca la estructura de hormigón y almacenamiento encima del mismo afluyente, donde opcionalmente, podemos colocar material granular como piedras, que tengan una función de filtro antes de que el agua se pueda almacenar en la cámara húmeda (ver figura 7). El resto de elementos de la estructura, pueden ser los mismos que en el manantial de ladera. Esta última opción, con en el caso de manantial de ladera, podremos evitarla en el caso de que coloquemos cerca del manantial otra válvula de paso.

Puede que también nos encontremos con manantiales que tienen más de un afluyente y se encuentren cercanos. En estos casos, es posible construir varias cámaras húmedas en los distintos afluentes y unir mediante ramales de tuberías todos los afluentes en una misma cámara más grande, que contará con la correspondiente cámara seca para las válvulas principales de la instalación no teniendo que colocar está en cada uno de los manantiales [38].

Operación y mantenimiento

En el caso de obtener el agua de un manantial, la labor más importante es la protección de la fuente, así como mantener limpios y operativos los depósitos de agua donde se acumulara el agua del surgente. Es muy importante, aparte de los consejos anteriores (véase punto

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

[2.1.1.1.](#)) para toda la instalación, proteger bien los surgentes de agua para que estos no puedan verse contaminados, ya que si esto ocurriera, el tratamiento que deberíamos de realizar sería considerablemente mayor e incrementaría los costes de la instalación y consumo de agua. Por todo ello, es recomendable seguir los consejos anteriores (véase punto [2.1.1.1.](#)), aparte de tener en cuenta las labores de mantenimiento que se mencionan en este capítulo.

Para el mantenimiento de los depósitos, sea cual sea la ubicación de este, es importante que la tubería de rebose y la de desagüe del depósito tengan una malla de protección debido a que sin ella sería muy fácil que insectos o animales pudieran acceder al interior de los depósitos y contaminar la instalación. Esta malla, la deberemos de limpiar periódicamente al igual que todas las mallas de protección que tengamos en nuestra instalación. Resulta muy importante, que estas se encuentren en buen estado, ya que en caso contrario no sabremos si insectos u animales han entrado en el depósito.

También resulta importante, que cada tres meses aproximadamente, se realice la limpieza y desinfección del interior y exterior del sistema de captación para lo cual nos podremos apoyar en un grifo y limpiar bien los canales de desagüe y zanjas para que estos no se llenen de basuras [13]. La diferencia de la limpieza y desinfección está en que la limpieza solo elimina la suciedad, mientras que la desinfección mata todas las bacterias o microbios, por eso es importante realizar ambas acciones, sobre todo en el interior de la instalación. En los próximos capítulos analizaremos con más detalle cómo se debe de realizar cada una de ellas.

Costos

La captación mediante manantiales, está considerada una de las más baratas a nivel rural. Esto es debido a que el mantenimiento no suele tener costes adicionales, sólo si nos toca reparar los grandes desperfectos en la estructura de hormigón o ferro cemento y debido a que muchos de los materiales así como la mano de obra la podemos conseguir de los usuarios y de la propia zona de uso.

Aun y todo, cualquier proyecto es particular y depende mucho de la zona de instalación y de las condiciones que tengamos, haciendo que esto pueda variar el precio de la instalación. Otro de los factores a tener en cuenta es el tamaño de la instalación. Cuanto más grande sea esta, mayor serán los costos del mismo, principalmente debido al costo del hormigón.

En una instalación simple, los costos del sistema estarían entre unos 700 y 900 \$ (23 de abril del 2013). A esto deberíamos de añadir los costos de mantenimiento pero como hemos comentado previamente, estos son casi nulos si los realizan los propios usuarios.

Para valorar los costos podemos observar la tabla 1 y 2 con algunos datos orientativos: En los conceptos solo se tienen en cuenta los costos del material a emplear en los distintos apartados y los datos son correspondientes a julio del 2011. Lo aquí comentado es extensible para todos los apartados de costos que son similares a estas próximas tablas.

CAPTACIÓN EN LADERA SIN CAJA DE VALVULAS		
HORMIGON 100 Kg/cm2	101,70	\$/m3
HORMIGON 140 kg/cm2	125,98	\$/m3
ENCOFRADO Y DEENCOFRADO DE MUROS	5,60	\$/m2
ACCESORIOS DE VENTILACION	3,60	\$/UD
ACCESORIOS DE SALIDA	5,98	\$/UD
ACCESORIOS DE REBOSE Y LIMPIEZA	10,68	\$/UD
COLOCACION DE FILTRO DE PIEDRA GRANDE	15,85	\$/m3
COLOCACION DE FILTRO DE PIEDRA MEDIANA	15,85	\$/m3
COLOCACION DE FILTRO MATERIAL FINO	49,52	\$/m3
TAPA METALICA SANITARIA 0.60 x 0.60	50,00	\$/UD
PINTURA LATEX EN MUROS EXTERIORES	0,54	\$/m2

Tabla 1: Costos unitarios captación en ladera [77].

CAJA Y VALVULA DE CONTROL		
HORMIGON 140 kg/cm2	125,98	\$/m3
ENCOFRADO Y DEENCOFRADO	6,17	\$/m2
VALVULA Y ACCESORIOS DE CONTROL	5,30	\$/UD
TAPA METALICA SANITARIA 0.40 x 0.40	32,69	\$/UD

Tabla 2: Costos unitarios válvula de control [77].

Captación por medio de galerías filtrantes

Al igual que en el apartado anterior, analizaremos ahora la instalación típica, las opciones técnicas, la operación y mantenimiento así como los costos de una instalación de captación por medio de galerías filtrantes

Instalación típica

Las galerías filtrantes son otra forma de captación de agua subterránea, estas suelen ser en fuentes sub-superficiales o afloramientos difusos [39]. Las aguas son recolectadas y dirigidas mediante unas zanjas o conductos porosos de infiltración, que recogen y guían el agua hasta la tubería o cámara de recolección de agua, donde al igual que los manantiales, se iniciara el recorrido hasta el consumo final del usuario [2]. Este tipo de instalaciones pueden encontrarse por debajo o por arriba del punto de consumo, por lo que pueden ser necesarias la instalación de bombas para elevar al agua hasta el punto de consumo o depósito, pero esto haría que el coste de la instalación se elevara notablemente. Por lo que es recomendable colocar las galerías filtrantes aguas arriba de los puntos de consumo. De no ser así, igual que en el caso de los manantiales las galerías filtrantes es probable que no sean apropiadas.

En la figura 8 que viene a continuación, podemos observar un ejemplo de una galería filtrante.

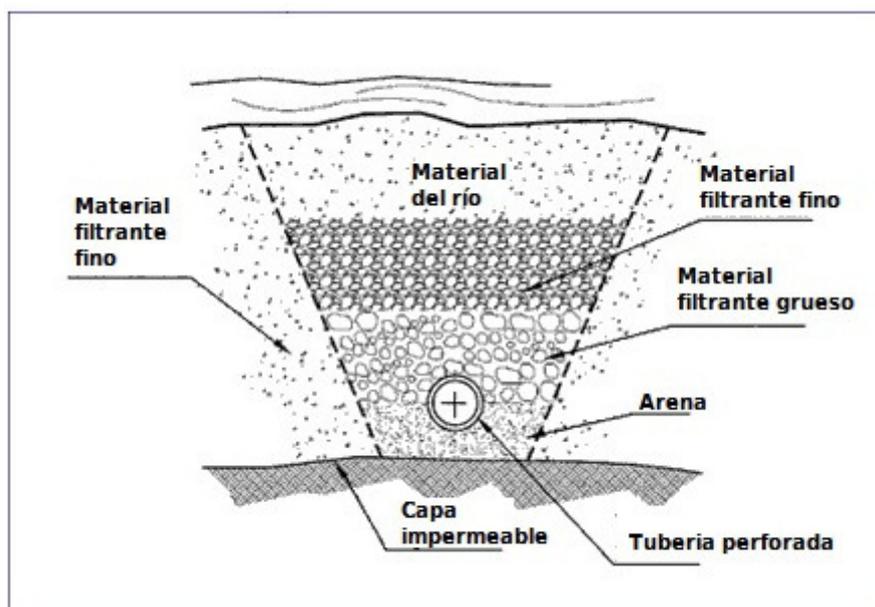


Figura 8: Esquema de una galería filtrante [53].

Las galerías filtrantes, suelen colocarse en lugares donde la acumulación de agua sub-superficial pueda ser elevada, para poder recolectar la máxima posible. Esta, tiene la ventaja de que en época de sequía es posible seguir abasteciéndose por medio de este método, debido a que los acuíferos subterráneos no suelen secarse como los superficiales pero sí que resulta notable el descenso del caudal. En cambio, la desventaja es que el rendimiento de la fuente puede no ser óptimo y que los materiales porosos (piedras) de la zona de construcción, no lleguen a proporcionar la cantidad de agua requerida ya que estos no los filtran bien [7].

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

Una galería filtrante, dentro de todas sus posibles variaciones, puede componerse de las siguientes partes:

- **Material filtrante:** Sirve para filtrar el agua y dirigirla hacia la tubería perforada para que luego esta llegue al depósito. El material filtrante, puede ser de muchas formas, incluso estar distribuido por capas. Entre otros podemos usar el material filtrante fino, grueso, arena o grava.
- **Tubería perforada:** Esta encargada de recolectar el agua por medio de sus orificios para luego llevarla hasta el depósito
- **Depósito de acumulación:** Es donde acumularemos el agua recolectada y tiene las mismas características que el explicado anteriormente para la captación por medio de manantiales. También se suele colocar el depósito seco con las distintas válvulas de las tuberías.

Opciones técnicas

Las variaciones técnicas en los sistemas de captación por medio de galerías filtrantes, suelen depender de la zona de infiltración. Esta puede ocupar una amplia zona y tener más de una rama de tuberías de infiltración o puede estar colocada debajo o en un lateral de un pantano, río o sistema acuífero por donde se filtre el agua fácilmente. Pero en general, cualquiera que sea el tipo de captación, se componen de la zona de recolección del recurso hídrico, las tuberías de drenaje, el depósito de almacenamiento y la caseta de válvulas. A continuación, podemos ver dos ejemplos, figuras 9 y 10, de galerías filtrantes.

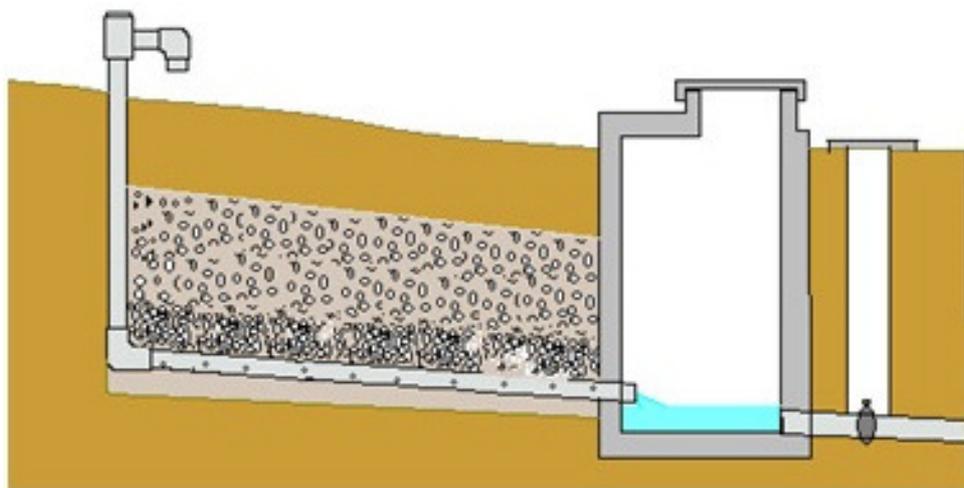


Figura 9: Ejemplo de galería filtrante simple [2].

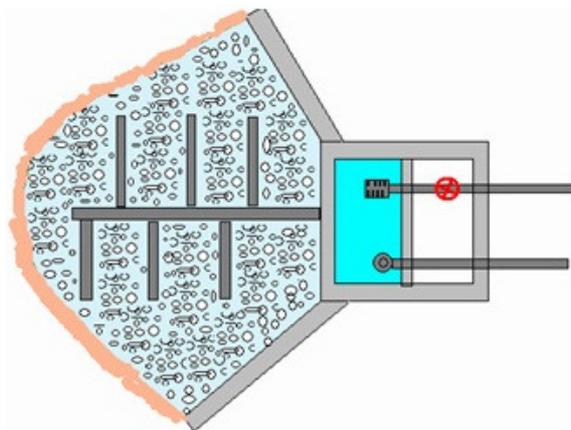


Figura 10: Ejemplo de galería filtrante con amplia superficie de captación [2].

En muchas ocasiones, también las galerías filtrantes se colocan cerca de las fuentes de agua superficiales, para que el agua de estas que se filtre por la tierra y termine en el lugar de almacenamiento de las galerías filtrantes, suponiendo esto un avance en la calidad del agua debido a que la tierra ejerce de filtro natural.

Operación y mantenimiento

Para las galerías filtrantes, como en el resto de instalaciones, deberemos de seguir las medidas de mantenimiento descritas en el apartado de tareas comunes de mantenimiento (véase punto [2.1.1.1.](#)) [13]. Aparte, como en todos los depósitos, debemos de limpiar y desinfectar regularmente según lo explicado en el apartado correspondiente de la captación por medio de manantiales (véase punto [2.1.1.2.1.2.3.](#)).

Las labores de mantenimientos particulares de las galerías filtrantes las describimos a continuación:

- Una de las tareas principales de las galerías filtrantes, es detectar que pueda existir obstrucción en los tubos filtrantes y que estos no capten la cantidad de agua deseada. En este caso, deberemos de resolver el problema limpiando la tubería, ya que probablemente se trate de un problema de saturación del sistema debido a la suciedad acumulada.
- Es importante también, proteger bien la fuente de agua y no dejar que esta se contamine de una forma parecida a la descrita anteriormente en el sistema de captación por manantiales.
- Por último, uno de los problemas más habituales al que está expuestas las galerías filtrantes, son las inundaciones. En este caso deberemos de drenar el agua, limpiar y desinfectar la zona afectada [13].

En la figura 11 podemos ver los pasos a realizar en la construcción de una tubería filtrante en una de sus posibles formas.

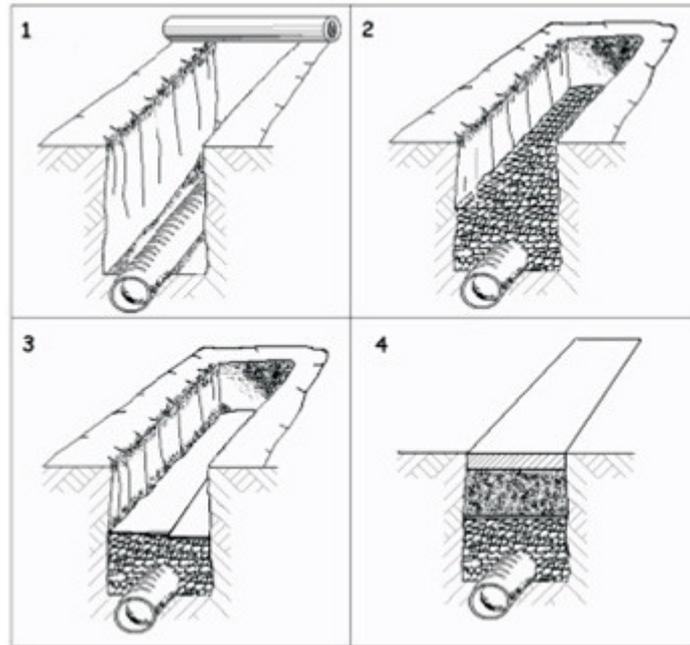


Figura 11: Esquema de la construcción de una galería filtrante [7].

Captación de agua de lluvia

Al igual que en el apartado anterior, analizaremos ahora la instalación típica, las opciones técnicas, la operación y mantenimiento así como los costos de una instalación de captación por medio de agua de lluvia.

Instalación típica

Una de las principales fuentes de agua es el agua de lluvia, que a la vez son las aguas más puras que se encuentran en la naturaleza [13]. Esta fuente, suele emplearse cuando es difícil obtener agua por medio de otras fuentes. Esto es debido a que otras alternativas son económicamente más rentables y se adaptan mejor a las necesidades de la zona rural andina. Pese a esto, no quita para que si realizamos un buen uso del sistema de agua de lluvia en combinación con otras formas de abastecimiento, podríamos evitar problemas como el que se genera con la escasez de agua en época de sequía [38].

Uno de los problemas más habituales de la captación de agua de lluvia, es su dependencia al régimen de lluvia de la zona donde la instalemos. No sabemos con exactitud cuánta agua puede captar este sistema ya que cada año cambia según el régimen de lluvias. Es cierto que existen sistemas estadísticos que pueden darnos un dato aproximado basándose en los datos de años anteriores pero este dato nunca será exacto, si no aproximado.

La captación por medio de la recolección de agua de lluvia suele tener unas condiciones de calidad buenas y tienen la ventaja de que el tratamiento suele ser reducido y normalmente domiciliar [39]. Igualmente, realizar un mínimo tratamiento es necesario debido a que en muchos casos el agua termina contaminándose por el largo tiempo que puede permanecer almacenada.

El sistema de captación de agua de lluvia está compuesto por las siguientes partes (figura 12):

- Sistema de captación: Normalmente los techos de las casas y edificios. Captan el agua y lo dirigen hacia las canaletas.
- Sistema de canaletas: Recoge el agua del sistema de captación y lo dirige hacia el depósito. Antes se encontrara con el interceptor de primeras aguas.
- Interceptor de primeras aguas: Se trata de un depósito que tiene el objetivo de apartar las primeras aguas, las cuales caen de forma que estas arrastran toda la suciedad acumulada en el sistema de captación y las canaletas.
- Depósito: Se trata de un depósito que acumula el agua de lluvia, suele ser de hormigón o ferro cemento y suelen encontrarse cerca de los puntos de consumo, es decir, las casas de los usuarios.

El funcionamiento de un sistema de captación por agua de lluvia se describe a continuación: para la captación del agua de lluvia es habitual utilizar los edificios de los usuarios por lo que suelen ser instalaciones individuales. Cuando llueve, el agua se desliza por los techos hacia unos recolectores que transportan el agua hasta los sistemas de almacenamiento desde donde podrá ser utilizada para su consumo, cualquiera que sea esté. El sistema, en general, tiene un coste bajo y es muy sencillo de utilizar, los únicos problemas a los que nos podemos enfrentar

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

es al tratamiento o a la suciedad que arrastra el agua proveniente de los edificios. Para lo primero, es posible que necesitemos realizar la desinfección del agua mediante distintos métodos (algunos de ellos veremos en las siguientes páginas). Mientras que para lo segundo, resulta imprescindible separar las primeras aguas de lluvia que arrastran todos los sólidos antes de que estas entren en el depósito de almacenamiento. Para ello, se instala un depósito adicional que es donde se almacenaran las primeras aguas. Una vez lleno este primer depósito mediante un flotador u otra tecnología, esta cerrara automáticamente y el agua de lluvia continuara su camino hasta el depósito principal.

En la figura 12, podemos observar un ejemplo de una captación de agua de lluvia con sus distintas partes.

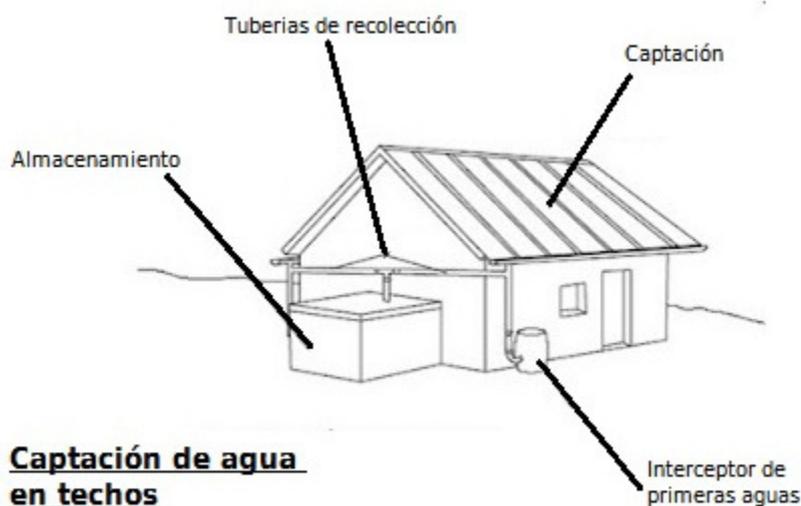


Figura 12: Esquema de una captación de agua de lluvia [52].

Uno de los inconvenientes es que en ocasiones habrá que adaptar los techos de las viviendas y que durante el almacenamiento del agua es posible que proliferen las bacterias cuanto más tiempo permanezca el agua almacenada. Este segundo inconveniente, podemos evitarlo no almacenando el agua durante mucho tiempo o tratándola antes del consumo [39] [7].

Opciones técnicas

Para la captación de agua de lluvia ,no existen muchas opciones de construcción, la estructura de instalación es la explicada anteriormente y solo pueden variar en forma o materiales distintas partes del mismo, el depósito que puede ser de plástico, la superficie de captación (normalmente los tejados de las casas) o las tuberías que trasladan el agua desde la captación hasta el depósito así como colocar un sistema distinto al del flotador para evitar que las primeras aguas entren en el depósito.

Operación y mantenimiento

Las labores de mantenimiento de una instalación de captación de agua de lluvia son pocas y sencillas. Básicamente, consisten en realizar las labores de mantenimiento del depósito principal, que consiste en seguir los consejos anteriormente citados (véase punto

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

[2.1.1.2.1.2.3.](#)) en el apartado de captación por medio de manantiales. Seguir también los consejos generales de mantenimientos para el sistema (véase punto [2.1.1.1.](#)).

Una de las labores particulares de un sistema de captación de agua de lluvia, consiste en la limpieza del sistema de recogida de agua de lluvia (normalmente techos) y las tuberías que guían esta agua hasta el depósito, para que la basura no se acumule en los mismos y pueda llegar a obstruir nuestro sistema, así como vaciar el depósito de las primeras aguas después de cada lluvia para que esté listo para recibir el agua en la siguiente lluvia.

Es importante también, comprobar periódicamente el sistema de desvío de las primeras aguas, ya que si este no se encuentra en buenas condiciones, el agua sucia irá al depósito principal mezclándose con el agua ya almacenada en el mismo [13]. Es posible, que cuando este deje de funcionar lo debamos de reparar y cambiar rápidamente para evitar que entren en el depósito las basuras acumuladas.

Costos

Los costos de la instalación de una captación de agua de lluvia depende de muchos factores, materiales, tamaño del tejado, cantidad de metros de las tuberías o capacidad del depósito entre otras cosas.

Para una familia de 6 personas que se calcula una superficie de captación de 60m^2 , un volumen de tanque de $15,63\text{m}^3$ el coste es de aproximadamente 1381.5\$. Aumentaría a 1411\$ con un techo de 65m^2 y $15,22\text{m}^3$ [23]. Este precio puede ser un poco elevado para una familia pero a la larga y viendo que el mantenimiento pueden realizarlo los usuarios y que la vida útil del sistema es bastante elevada puede merecer la pena la inversión a realizar. Otra opción, es realizar el depósito de plástico que es más barato pero tiene una vida útil menor que el depósito de hormigón o ferro-cemento.

Captación por medio de micro reservorios

Al igual que en el apartado anterior analizaremos ahora la instalación típica, las opciones técnicas, la operación y mantenimiento así como los costos de una instalación de captación por medio de micro reservorios

Instalación típica

Los micro reservorios, son sistemas de acumulación del recurso hídrico que se construyen al aire libre y que normalmente captan el agua que cae de las laderas de la montaña. En algunos casos, suelen captar agua por medio de galerías filtrantes que terminan en el micro reservorio o las aguas que por medio de canales se recolectan hasta el micro reservorio. El depósito, se construye con materiales de la zona y no se suele utilizar hormigón debido a que los costes del mismo se elevaría mucho resultando inviables para las zonas rurales. Esto en un principio supone un problema ya que el primer año de funcionamiento del depósito, este tarda en funcionar correctamente, ya que mucha agua acumulada se pierde por infiltración y evaporación. Después de ese año, cuando los lodos que se van acumulando cierran los orificios del micro reservorio, se reduce notablemente la pérdida de agua por infiltración y hace que el sistema sea muy útil, barato y poco costoso de mantener, si se cuida bien.

Se trata de un sistema de fácil construcción, utilización y mantenimiento que se adapta muy bien a las características de la Zona Andina. El agua del micro reservorio, se puede utilizar tanto para consumo humano como para uso productivo.

Al encontrarse al aire libre, el micro reservorio tiene la desventaja de que está expuesto a posibles agentes contaminantes y a la evaporación del agua, pero esta última, no es un inconveniente tan grande, ya que los depósitos se diseñan teniendo en cuenta esta pérdida de agua.

Como hemos comentado previamente, el agua del micro reservorio puede tener diferentes usos y si este no es para consumo humano no resulta necesario tratar el agua acumulada en el mismo, pero si queremos utilizar el agua para uso humano es totalmente necesario construir un sistema de tratamiento de agua antes de su consumo final. Este es el gran inconveniente de este sistema de captación, ya que si el uso que queremos darle es de consumo humano, la planta de tratamiento resulta necesaria y es muy costosa, al igual que su mantenimiento para lo que tendríamos que contratar a personal formado elevando mucho el coste del sistema.

El micro reservorio, se suele colocar siempre en cotas más altas del consumo para que este pueda funcionar por medio de la gravedad y facilitar la regulación de la presión del sistema y ofrecer el mejor servicio posible.

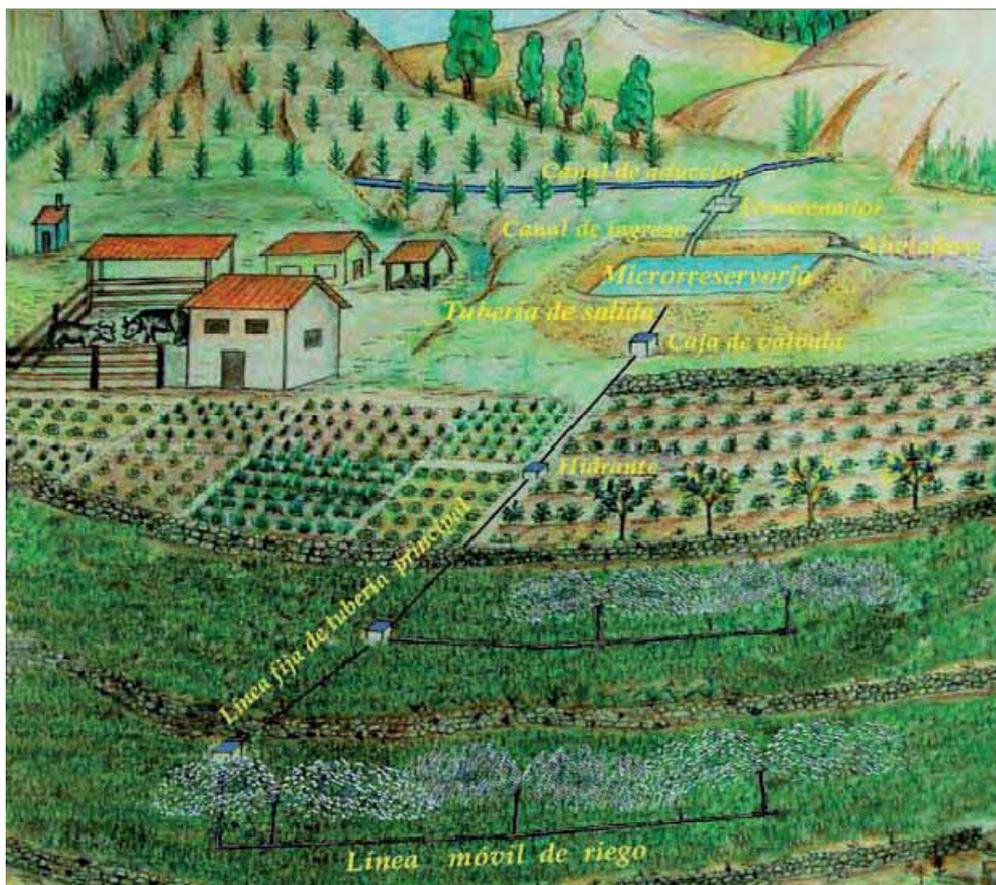


Figura 13: Distintas partes del micro reservorio [45].

El sistema de captación por micro reservorios se compone de las siguientes partes:

- Depósito: se trata de un depósito al aire libre, normalmente de tierra y construido con material de la zona.
- Desarenador: retiene los sólidos más grandes antes de entrar en el depósito. Se reduce la velocidad del agua de forma que los sólidos flotantes se quedan en la superficie y los más pesados caen al fondo de forma que estos se pueden retirar periódicamente.
- Canal de ingreso: controla el ingreso del agua al depósito.
- Canal de aducción: capta y conduce el agua hasta el depósito, venga de donde venga el agua.
- Aliviadero: permite evacuar el agua sobrante del micro reservorio para que este no se sature.
- Tubería de salida: conduce el agua del depósito hasta la caseta de válvulas donde se sitúan las válvulas reguladoras de agua.
- Caseta de válvulas: Tiene la función de regular el paso de agua por las distintas tuberías.

Estas, se pueden observar en la figura 13. Mientras que en la figura 14, podemos observar el desarenador, depósito y canal de ingreso.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.



Figura 14: Micro Depósito con desarenador [45].

Suelen ser grandes depósitos con una capacidad aproximada entre 1000 y 2000 m³ por lo que ocupan una superficie relativamente grande.

El llenado del depósito se puede dar de muchas maneras distintas, la más importante, es una recolección de agua de lluvia que sea dirigida por las laderas de la montaña hacia una depresión donde se almacene el recurso. Otra forma es la construcción de zanjas que recolecten y dirijan el agua de que cae por las laderas de la montaña hasta el depósito. Otra técnica parecida a la anterior, es el aprovechamiento del agua que desciende por las cunetas de las carreteras y que en cierto punto se desvían hasta el micro reservorio. Es posible también redirigir hacia el depósito aguas provenientes de filtraciones y manantiales. Estas son las formas más habituales para llenar un depósito, pero en muchos casos, el sistema más eficaz puede ser la combinación de varios de los sistemas explicados anteriormente, ya que todos pueden complementarse.

Para la construcción del depósito, deberemos de tener en cuenta varios aspectos que ayudaran a su buen funcionamiento. Lo primero es averiguar qué características tiene el terreno para saber cuáles serán las fuentes de abastecimiento del mismo. Es importante que el depósito se encuentre en la zona más alta posible, para garantizar una presión adecuada y que el terreno donde se coloque sea suficientemente grande, estable y que la pendiente del mismo no supere el 15%. El terreno, también tiene que tener suficiente tierra antes de llegar a los extractos rocosos para que no tengamos problemas a la hora de construir el depósito. Otro de los aspectos a tener en cuenta es el propio terreno. Pese a que este se puede construir en cualquier terreno e impermeabilizarlo, es recomendable que la tierra sea arcillosa para reducir la pérdida de agua por medio de infiltraciones y que el costo de la instalación no se vea elevado por la necesidad de impermeabilizar el depósito. La característica principal de una tierra arcillosa es que ella sola limita la pérdida de agua.

Como hemos dicho, uno de los mayores problemas es la pérdida tanto por infiltración como por evaporación. La segunda es inevitable y conforme más superficie de terreno abarque el

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

depósito mayor será. Pero las pérdidas por infiltración se pueden controlar. Las paredes del depósito, si están bien compactadas, presentaran menos pérdidas y si la tierra es arcillosa todavía mejor. Aparte de esto el primer año de funcionamiento, es cierto que se sufren más pérdidas pero los materiales que el agua arrastra al depósito ayudan a que se sedimenten en el piso y las paredes de forma que el agua no se pierda por los pequeños orificios que pueda haber. De esta forma, se cierran los orificios de forma natural y con el paso del tiempo se reduce notablemente la pérdida de agua en los depósitos [45].

Opciones técnicas

Cuando hablamos de micro reservorios, puede ser que un depósito pueda necesitar una protección adicional debido a que no sea muy impermeable (depende del terreno donde se construya). Para ello, el sistema más barato es construir los micro reservorios con la propia tierra arcillosa, pero si nuestro terreno no cumple los requisitos adecuados existen otras alternativas con las que podemos construir o complementar el depósito. La primera de ellas consiste en colocar una geo membrana para impermeabilizar el depósito. La segunda, en vez de realizar el micro reservorio con tierra e impermeabilizarlo, este puede ser construido totalmente de hormigón, que igualmente sirve como material para impermeabilizante pero tiene la desventaja de ser un sistema mucho más caro que los anteriores y prácticamente inviable para familias con un nivel escaso de ingresos.

La impermeabilización de un depósito, se puede realizar de varias formas aparte de la sedimentación natural (como hemos explicado anteriormente), se puede aportar al depósito una capa de arcilla, se puede utilizar una geo membrana o se puede construir el depósito de hormigón como hemos visto en el párrafo anterior. La elección de la opción más adecuada sigue unos criterios de durabilidad y costo. La menos costosa es la natural, que se realiza a lo largo del tiempo, conforme el material que arrastra el agua se asienta y sedimenta en las paredes y piso del depósito impermeabilizándolo. Otro sistema, es el aporte de material arcilloso al depósito pero este debe de ser trasladado hasta la ubicación del mismo si no se encuentra en la zona. También se puede optar por la colocación de una capa de geo membrana, con una durabilidad de unos 15 años aproximadamente y con el coste de la compra del mismo que veremos al final del capítulo en el apartado de costes. Por último, podemos optar por impermeabilizarlo con hormigón armado, pero esta decisión debe de realizarse antes de la construcción del mismo ya que toda la estructura debería de ir con el mismo material. El hormigón, aproximadamente, tiene una vida útil de 30 años pero resulta ser el sistema más costoso pese que a su vez tiene la ventaja de que el depósito sería impermeable desde el momento de la construcción y no habría que esperar a que el proceso natural sellase las pequeñas grietas [45].

Operación y mantenimiento

Como en las instalaciones anteriores, debemos de seguir las recomendaciones generales de mantenimiento explicadas en capítulos anteriores (véase punto [2.1.1.1.](#)). Aparte de estas, un micro reservorio cuenta con una serie de tareas adicionales a las explicadas:

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

- Limpiar el desarenador: es importante limpiar el desarenador conforme este se vaya llenando para no obstruirlo y que no pueda realizar su función ya que si no funciona correctamente llenaremos el depósito de sedimentos. Esta tarea podemos realizarla aproximadamente cada año.
- Revisar los taludes del depósito: Con una frecuencia de un año aproximadamente, debemos de revisar las paredes del micro reservorio, ver que se sigue manteniendo la estabilidad, que no existen grietas, escapes de agua etc. y en el caso de que existan repararlas inmediatamente.
- Limpiar de basuras los canales de aducción: Lo dicho, es importante limpiar los canales de acceso del recurso hídrico para que el agua pueda circular sin dificultad y sin transportar los sedimentos que se acumularan en estos lugares.
- Limpiar el aliviadero: Esté siempre debe de encontrarse limpio de maleza o sedimentos debido a que de ello depende que el depósito no sobrepase su capacidad.
- Localizar filtraciones: Resulta especialmente importante, estar atento a las filtraciones localizadas, ya que éstas pueden ser muy peligrosas y originar la rotura del micro reservorio por la sobre presión del agua. En estos casos, se debe de realizar la impermeabilización del depósito lo antes posible ya que la erosión será mayor conforme más tiempo pase.
- Reforzar el talud: es importante reforzar la zona del talud por ser muy sensible a la erosión y se puede proteger con lajas de piedras, haciendo terrazas en la parte baja del terraplén o plantando especies vegetales de densa cobertura y con raíces superficiales que fortalezcan el suelo. Estas acciones ayudaran en la consolidación del micro reservorio y evitaran la rotura del mismo protegiéndolo.
- Plantas acuíferas: por último, es posible que en nuestro depósito crezcan plantas acuíferas. Se debe de evitar esta situación ya que las plantas y la materia orgánica que puedan generar hace más permeable el depósito y pueden aumentar la pérdida de agua ya que estas necesitan del recurso acuoso para sobrevivir. Por estas razones se debe de evitar la proliferación de este tipo de plantas en las paredes y en el interior del micro reservorio [45].

Las estructuras de hormigón es fácil que sufran daños a lo largo del tiempo y resulta necesario tener que arreglar estos daños una vez detectados si no se corre el riesgo que la instalación quede obsoleta.

Costos

Los costos de la realización de un micro reservorio dependen de muchos factores y sin duda cada caso resulta particular. Principalmente, los costos del sistema de captación dependen de la distancia de las fuentes de agua al depósito y de la decisión acerca de la impermeabilización de este.

Como hemos descrito anteriormente, la impermeabilización tiene coste cero si se deja sedimentar naturalmente con el tiempo, se eleva un poco el coste cuando lo impermeabilizamos mediante una capa arcillosa, se eleva todavía más con la geo membrana

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

pero nunca llegará hasta los costos que supondría una realización del micro reservorio mediante hormigón armado.

Otro de los factores que elevan los costos, es el tamaño del mismo, cuanto más grande sea la superficie que abarque más caro será el sistema. Al igual que el depósito el tamaño de los sistemas adicionales elevaran los costos totales del sistema cuanto mayor sean, me refiero a los costos del sistema de aducción o el desarenador por ejemplo. Por último, las características del terreno también influyen en el sistema y el costo del mismo pero el factor que más influye en los costos corresponde a la relación entre horas de trabajo de las máquinas. Estas serán mayores conforme mayor sea el depósito y peor el terreno en el que se instale.

En la tabla 3, podemos comparar los costes según tamaño, la forma de impermeabilización y coste de los sistemas complementarios. La fuente de ambos cuadros es el libro “Sistemas de riego predial regulados por micro Depósitos”.

Tipo de sistema	Coste de inversión (\$)	
	Capacidad 1300m3	Capacidad 2000 m3
Sistema con microreservorio en tierra compactada (impermeabilizado mediante sedimentación natural)	3269	4308
Sistema con microreservorio en tierra, impermeabilizado con arcilla de cantera	3615	4808
Sistema con reservorio impermeabilizado mediante geomembrana	7884	12115
Sistema con reservorio de concreto armado	76920	123072

Tabla 3: Comparativa costos por impermeabilización y capacidad del micro depósito [45].

Componentes del sistema		Costo aproximado (\$)	
		Capacidad de 1300 m3	Capacidad de 2000m3
Aducción	Canal de aducción	231	231
	Desarenador		
	Canal de ingreso y cámara de apoyo		
Reservorio	Microreservorio	2885	4077
	Aliviadero		
	Impermeabilización con arcilla de cantera		
Total		3116	4308

Tabla 4: Comparativa costos por estructuras adicionales y capacidad del micro Depósito [45].

Aparte de los costos de inversión durante el funcionamiento del mismo debemos de tener en cuenta los costos por mantenimiento que nos generara la instalación completa. Estos no son muy elevados y normalmente dependen de la mano de obra de la o las personas que las realicen. En el caso de que un usuario o usuario realice estas labores, el coste de las mismas se reduciría pero previamente se debería de formar a la persona que vaya a realizar las tareas de mantenimiento.

Otros gastos adicionales en cuanto al mantenimiento, pueden generarse si tenemos problemas grandes en las instalaciones de hormigón, sistema de tuberías o en el micro reservorio. Se tratan de casos puntuales de reparaciones grandes debido a que debemos de renovar parte de la instalación. En estos casos, tendremos que invertir mucho tiempo y dinero en el mantenimiento y en la persona que realice las tareas ya que estas pueden tardar muchos días. En definitiva, los costos de mantenimiento normalmente son pequeños y dependen generalmente de la mano de obra y tiempo dedicado a los mismos y esta parte son los propios usuarios quienes decidirán como realizarlo ya que si ellos mismos realizan el trabajo pueden ahorrarse los costos de mantenimiento [45].

2.1.1.2.2.- Línea de conducción

La línea de conducción, resulta ser el sistema de tubería que lleva el agua desde el punto de captación hasta el reservorio. En este recorrido, podemos encontrarnos una planta de tratamiento si la instalación es común para todos los usuarios.

La función de la misma es lo comentado, transportar el agua de un sitio a otro y en las mejores condiciones posibles siendo muy interesante que el sistema tenga una vida útil muy larga y no debamos de hacer reparaciones constantemente.

En los siguientes apartados, analizaremos el principio general de funcionamiento así como la instalación típica, opciones técnicas, la operación y mantenimiento y los costes de la línea de conducción.

Todo lo que se trate en este capítulo acerca de las tuberías es igualmente útil para todas las tuberías que se coloquen en la instalación, desde el sistema de captación, hasta el punto final de consumo del recurso hídrico.

Principio general de funcionamiento

El agua, una vez recogida y recolectada en el depósito de captación, se debe de transportar hasta el depósito de almacenamiento. Desde la cámara húmeda del sistema de captación, por medio de la gravedad, el agua descenderá hasta el depósito que se encontrará cerca del punto de consumo, pero en cotas más altas que las de consumo para regular la presión de la red de distribución. Este descenso del agua, se realiza por medio de una línea de tuberías, las cuales, normalmente serán de PVC. Debemos de tener en cuenta a la hora de realizar la instalación que la pérdida de carga sea la menor posible, así como verificar que el sistema no sobrepase el límite de presión de las tuberías, la presión máxima que soporta la tubería antes de romperse, ya que las podría llegar a romper. El punto de máxima presión en las tuberías, no suele darse durante el funcionamiento habitual del mismo, si no cuando realizamos el cierre de válvulas de paso que genera una sobre presión en el sistema. Para el buen funcionamiento del sistema de tuberías, es recomendable que el paso del agua por las tuberías se realice con velocidades entre 0.6 y 3 metros por segundo.

Instalación típica

El sistema de tuberías depende del terreno en el que realicemos la instalación y esta puede estar expuesta a múltiples problemas debido a que las tuberías, en principio, deberían de continuar el perfil de la tierra. Dependiendo del terreno que nos encontremos el perfil del sistema cambiara y con ello los costes del mismo. En la Zona Andina, debido a las características del terreno podemos encontrarnos desde zonas hundidas, picos insuperables, bajadas bruscas, terrenos inestables, balsas de agua... En la medida de lo posible, deberemos de evitar estas dificultades, sobre todo las balsas de agua o los terrenos inestables que puedan dañar nuestro sistema e inutilizarlo. Para el resto de los problemas, se pueden buscar soluciones tales como cavar un túnel para superar las zonas elevadas, poner válvulas de purga, válvulas de aire y cámaras rompe presión.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

Por lo tanto aparte de las tuberías la instalación podrá ir acompañada de las siguientes estructuras y aparatos:

- Válvulas de purga: se colocan en las zonas más bajas del sistema para evitar que los sedimentos se acumulen.
- Válvulas de aire: sirven para evitar las bolsas de aire en los puntos más elevados del sistema.
- Cámaras rompe presión: disipan la energía acumulada en los lugares donde la presión sea demasiado elevada y tengamos que reducirla para que no dañe las tuberías y las termine inutilizando. Podemos observar una de ellas en la figura 15.
- Válvulas de paso: Se colocan a lo largo de todo el sistema para facilitar su funcionamiento y mantenimiento distanciados unos de otros cada cierta distancia.

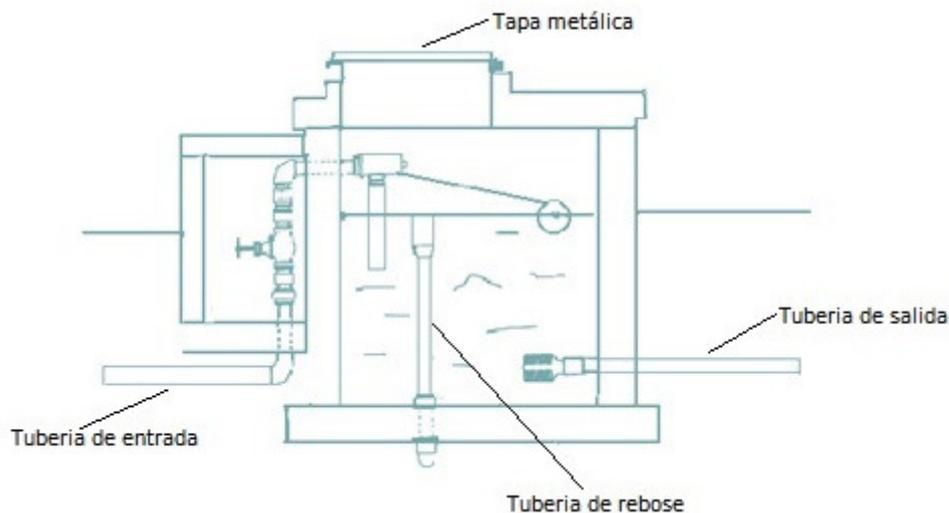


Figura 15: Estructura cámara rompe presión.

Colocar las cámaras rompe presión resulta muy importante debido a que van a permitir tener tuberías menos resistentes, menos problemas en la instalación debido a que será más difícil llegar al límite de rotura de las tuberías y menos recambios del sistema por mantenimiento debido al mal estado del mismo. Todo esto supondrá un ahorro en los costos del sistema debido al ahorro en mantenimiento y costo de los materiales en la construcción de la instalación.

La línea de tuberías suelen ser de PVC y se encarecerán en función de la resistencia que tenga el material que coloquemos, de forma que cuanto más resistente sea, más caro será el material.

A la hora de construir la instalación, resulta importante realizar un mapa de replanteo que nos ayudará a ubicar todas las tuberías y saber exactamente el diámetro, material o la forma de la misma [13]. Esta herramienta, resulta muy útil a posteriori ya que tendríamos todos los datos de la instalación disponibles en este mapa y facilitaría las labores de mantenimiento,

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

sustitución y distintas operaciones. Este replanteo debería de encontrarse siempre en manos de la persona encargada de la gestión del sistema.

Opciones técnicas

En ocasiones podemos utilizar las tuberías rompe presión para evitar los posibles golpes de ariete (ver figura 16). Se trata de una tecnología que hace que la onda generada en el golpe de ariete se disipe y este no siga su recorrido aguas arriba de la tubería dañando la misma e incluso pudiendo llegar a la rotura de la tubería si esta no es suficientemente fuerte. También puede servir como alternativa a las cámaras rompe presión. Se calcula que si la caída es mayor de 50 m se debe de colocar o bien una tubería o una cámara rompe presión debido a que si no la presión sobre la tubería podría llegar a ser muy grande.

La tubería rompe presión resulta más barata y sencilla frente a la cámara rompe presión. También el mantenimiento de la misma se vería reducido. La desventaja de la misma, es que se trata de un sistema actual que no se ha utilizado todavía en muchas instalaciones y se puede decir que se encuentra en fase de pruebas por lo que puede haber variaciones en la misma. Se trata de una alternativa que de confirmarse que puede funcionar bien podría suponer un pequeño avance en la construcción de la red de tuberías.

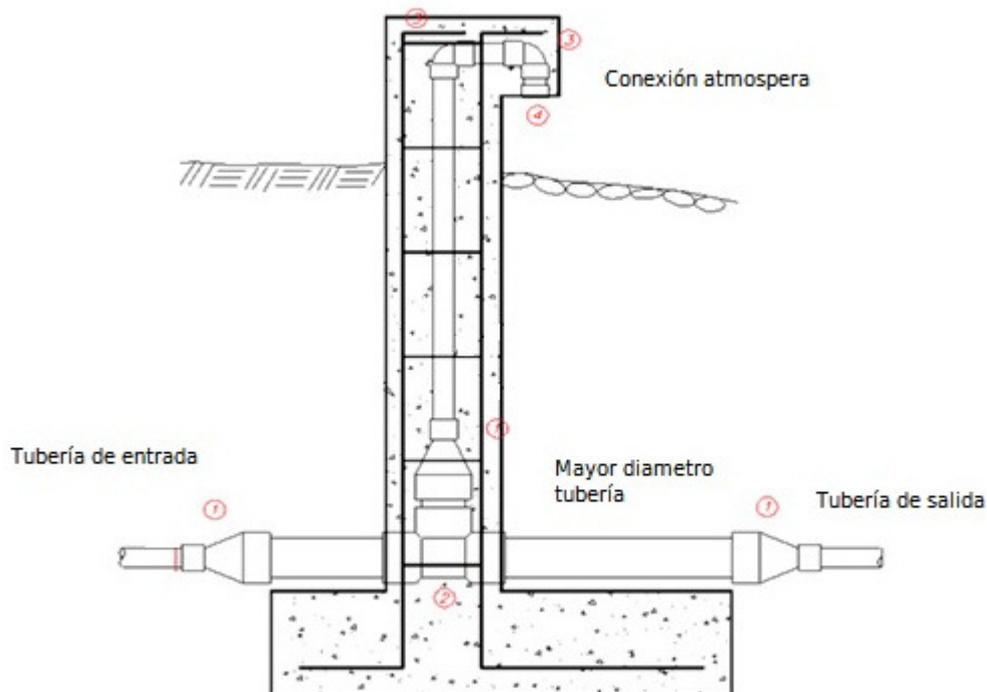


Figura 16: Tubería rompe presión [77].

Otra opción técnica al alcance de las instalaciones de abastecimiento de agua, es el uso de distintos tipos de cámaras rompe presión, existen muchas en el mercado y cada una tiene su particularidad, pero no lo trataremos en este manual ya que se escapa del objetivo del mismo. Aparte de los posibles distintos tipos de cámaras rompe presión, en ocasiones podemos prescindir de las cámaras secas de válvulas que suelen acompañar a las primeras. Esto se

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

puede observar en la figura 17. Para ello, lo que se hace es hacer que las tuberías de entrada y salida vayan por la estructura hasta el depósito y terminen dentro de tal manera que podamos acceder a la válvula de paso desde el interior de la cámara rompe presión.

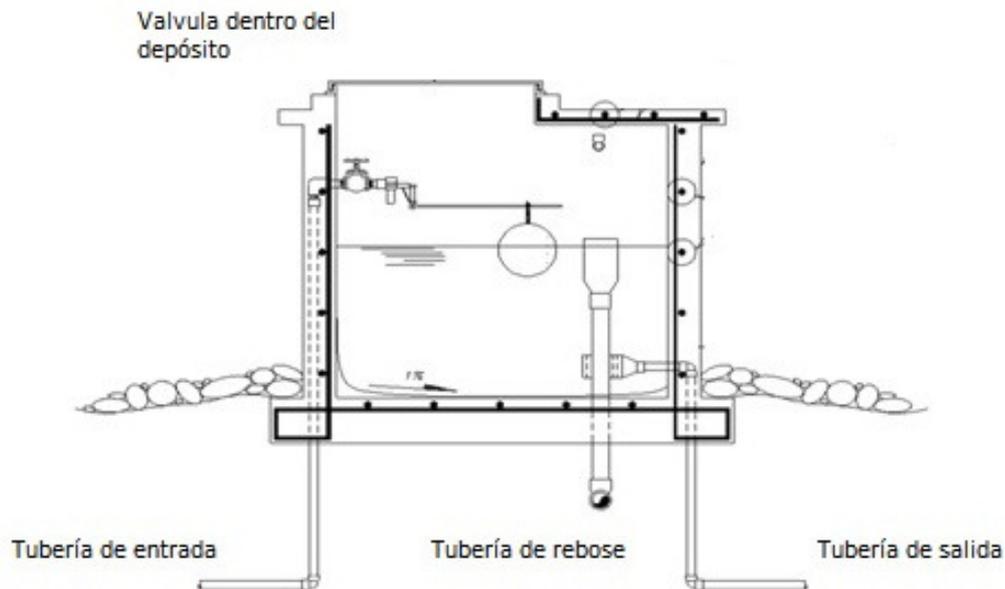


Figura 17: Cámara rompe presión sin cámara de válvulas.

Operación y mantenimiento

Como en los apartados anteriores, es importante seguir los consejos generales acerca del mantenimiento de todas las instalaciones comentadas en apartados anteriores (véase punto [2.1.1.1.](#)).

Otras tareas de mantenimiento relacionadas con la línea de conducción son las siguientes:

- Comprobar periódicamente que no existan zonas húmedas en las tuberías así como corrimientos de tierra. Además, verificar periódicamente las válvulas y los problemas por la corrosión.
- Periódicamente deberemos de hacer uso de las válvulas de purga y aire para que no se acumulen sedimentos y aire durante mucho tiempo, que impidan el buen funcionamiento del sistema así como observar cualquier error en el sistema para repararlo inmediatamente.
- Las cámaras rompe presión se deben inspeccionar periódicamente para comprobar su correcto funcionamiento y con respecto a su limpieza se deben de tratar como si fueran un depósito más de la instalación realizando las labores correspondientes citadas en capítulos anteriores (véase punto [2.1.1.2.1.2.3.](#)).
- Resulta muy importante, tener en cuenta en toda la estructura de instalación, ya sea en las tuberías o en todas las estructuras construidas, que no se realicen en terrenos donde pueda haber deslizamientos o corrimientos de tierras para evitar grietas o deterioro rápido de la instalación.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

Costes

En las tablas 5 - 9 podemos observar costos orientativos para la línea de conducción.

LINEA DE CONDUCCIÓN Ø 1.5"		
TUBERÍA PVC SAP Ø 1.5"	2,27	\$/m

Tabla 5: Costos unitarios línea de conducción [77].

TUBO ROMPE CARGA		
HORMIGON 175 Kg/cm ²	135,56	\$/m ³
ACERO fy = 4200 Kg/cm ²	1,86	\$/Kg
ENCOFRADO Y DEENCOFRADO	5,60	\$/m ²
ACCESORIOS DE INGRESO - SALIDA	30,06	\$/UD

Tabla 6: Costos unitarios tubo rompe presión [77].

CAMARA ROMPE PRESIONES		
RELLENO	4,20	\$/m ³
PIEDRA COLOCADA	27,08	\$/m ²
HORMIGON 140 Kg/cm ²	125,98	\$/m ³
HORMIGON LOSA DE TAPA 175 Kg/cm ²	135,56	\$/m ³
HORMIGON MUROS 175 Kg/cm ²	135,56	\$/m ³
HORMIGON LOSA DE FONDO 175 Kg/cm ²	135,56	\$/m ³
ACERO fy = 4200 Kg/cm ²	1,94	\$/Kg
ENCOFRADO Y DEENCOFRADO DE LOSA DE TECHO	6,17	\$/m ²
ENCOFRADO Y DEENCOFRADO DE PAREDES	6,30	\$/m ²
ACCESORIOS DE INGRESO	49,34	\$/UD
ACCESORIOS DE SALIDA	11,60	\$/UD
ACCESORIOS DE REBOSE Y LIMPIEZA	12,18	\$/UD
ACCESORIOS DE VENTILACION	3,46	\$/UD
TAPA METALICA SANITARIA 0.60 x 0.60	50,00	\$/UD
PINTURA EN MUROS EXTERIORES AL LATEX	0,54	\$/m ²

Tabla 7: Costos unitarios cámara rompe presión [77].

CAJA Y VALVULA DE PURGA		
HORMIGON 140 kg/cm ²	126,01	\$/m ³
PIEDRA 4", ASENTADA CON MORTERO	10,01	\$/m ²
ENCOFRADO Y DEENCOFRADO	6,12	\$/m ²
ACCESORIOS DE CONTROL Ø	10,65	\$/UD
TAPA METALICA SANITARIA 0.40 x 0.40	32,69	\$/UD

Tabla 8: Costos unitarios válvula de purga [77].

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

Línea de conducción

Iñaki Leache Setuain

CAJA Y VÁLVULA DE AIRE		
HORMIGON 140 kg/cm2	126,01	\$/m3
ENCOFRADO Y DEENCOFRADO	5,79	\$/m2
ACCESORIOS DE CONTROL	7,86	\$/UD
TAPA METALICA SANITARIA 0.40 x 0.40	32,69	\$/UD

Tabla 9: Costos unitarios válvula aire [77].

2.1.1.2.3.- Tratamiento del agua

En muchas ocasiones, debido al estado del agua se hace necesario un tratamiento del mismo ya que no es apta para el consumo humano. Este puede resultar ser un tratamiento simple, complejo, domiciliario o público, dependiendo del nivel de contaminación del agua, del tratamiento que queramos darle o de la cantidad de usuarios que se beneficien de ese tratamiento. Para realizar el tratamiento cabe la posibilidad de hacerlo en una planta de tratamiento común para todos los usuarios o en el propio domicilio de los distintos usuarios con sistemas individualizados o descentralizados.

Cuando hablamos de tratamiento de agua, resulta muy importante el mantenimiento y cuidado de las instalaciones ya que de esto dependerá la calidad de agua que tomemos en nuestros hogares. Para ello, periódicamente deberemos de revisar las instalaciones en busca de grietas o desperfectos que se deben arreglar al instante, así como revisar la instalación de las válvulas engrasándolas y en el caso de que sea necesario, aplicar pintura corrosiva para evitar la oxidación del sistema. Para evitar la contaminación, también resulta muy importante la limpieza exterior, que incluso puede estar cercado para evitar la entrada de animales y personas que puedan contaminar la instalación.

A continuación estudiaremos los diferentes sistemas de tratamiento de agua que se adecuan mejor a las condiciones de la vida en la zona particular a la que este manual va dirigido (véase punto [1.3.1.](#) y [1.3.2.](#)). Sin duda no están todos, solo los más importantes y los que más se utilizan en el contexto que nos ocupa ya que el analizarlos todos se escapa del objetivo del manual.

Principio general de funcionamiento

El agua para el consumo humano, es necesario que este dentro de unos parámetros aceptables para su consumo. De esta forma, evitaremos problemas de salud y podremos beber uno de los bienes más necesarios para la vida de una forma segura. Los parámetros que se miden en el agua para saber si es apta para el consumo humano son los siguientes: el color, sabor, olor, el nivel bacteriológico y las características físico químicas del agua. Por lo tanto, vemos que el tratamiento del agua es necesario y en el contexto al que va dirigido este manual podemos diferenciar el tratamiento en dos líneas generales: tratamiento común a todos los usuarios mediante sistemas más convencionales, o el tratamiento a pequeña escala por medio de sistemas de tratamiento domiciliario del agua.

El tratamiento, en las zonas rurales, se realiza por medio de sistemas pequeños y familiares donde los propios usuarios son los que deben de realizar las labores de tratamiento y de los que dependerá el buen uso y funcionamiento de los sistemas. Es posible también, para cuando realicemos un sistema más grande de abastecimiento de agua o dispongamos de agua con una baja calidad para consumo humano, construir una planta de tratamiento. Antes de hacerlo, debemos de saber que esto tiene un costo mayor de construcción e instalación así como de mantenimiento debido a que se hace necesario contratar a una persona que se ocupe del

Tecnologías Adecuadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

sistema. Todos estos costos adicionales, se verán reflejados en las cuotas que deberán de abonar los usuarios de las instalaciones así como en la inversión inicial. Por ello la opción más utilizada suele ser la de sistemas individuales.

Si el sistema elegido para nuestra instalación es común a todos los usuarios, suele colocarse antes de llegar el agua hasta el depósito de almacenamiento pero en el caso de tratarse de un tratamiento domiciliario son los propios usuarios los que se tienen que encargarse de realizar el tratamiento del agua que van a tomar y de su mantenimiento.

En la figura 18, podemos observar la estructura de uno de los sistemas domiciliarios.



Figura 18: Esquema biofiltro de arena [49].

En el tratamiento, también es muy importante proteger bien nuestras instalaciones así como hacer un buen uso y mantenimiento del mismo, ya que si malogramos el sistema de tratamiento este no se hará correctamente y el agua a tomar no estará en las condiciones adecuadas para el consumo humano.

Previamente a la realización de la instalación de la planta de tratamiento, es importante realizar distintas pruebas para comprobar el estado del agua y decidir el mejor tratamiento, de igual forma es importante controlar el estado del agua, periódicamente para ver cuál es la calidad de la misma y verificar que el agua no se ha contaminado después de la realización del proyecto. En muchos proyectos de tratamiento de agua esta parte no se termina de realizar debido a que los costes adicionales que suponen, solamente se suele realizar una prueba de calidad al inicio del funcionamiento de la planta.

- Análisis previo del estado del agua:

Antes de decidir cuál es el tratamiento de agua, debemos realizar el análisis físico-químico y bacteriológico del agua para determinar sus componentes y su aptitud para el consumo [1]. Depende de estos resultados, deberemos de decidir cuáles son los mejores tratamientos que podemos realizar para obtener el agua que tenga las características apropiadas para

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

considerarla como agua para consumo humano [38] [39]. Estas pruebas, suelen realizarse en laboratorios especializados para los que es necesario mandar una muestra de agua a los mismos. También existen otros métodos para controlar la calidad de agua que resultan ser menos costosos que los laboratorios pero a su vez menos fiables.

En el análisis físico-químico determinaremos el color, los minerales, la turbiedad o la acidez del agua, mientras que en el análisis bacteriológico veremos la cantidad y tipo de los agentes infecciosos contenidos en el mismo [1].

En otras ocasiones, si nos resulta muy costoso realizar la prueba en un laboratorio donde nos evalúen la calidad de nuestra agua existen distintos kits de análisis rápido de agua que nos permiten en el acto o con pequeñas acciones obtener rápidamente el estado del agua o de determinados componentes del mismo. Este tipo de análisis suele ser más barato pero menos fiables, ya que no siempre podremos determinar todas las sustancias presentes en el agua y el margen de error es mayor.

Un ejemplo de ello es el que podemos observar en la figura 19.



Figura 19: Ejemplo kit análisis de agua [54].

A continuación, analizaremos diferentes tratamientos de agua como la flotación y la sedimentación, la filtración y la desinfección.

Flotación y sedimentación

La flotación y sedimentación, son dos procesos físicos de extracción de material que se pueden dar a la vez si la estructura es la adecuada. Uno de ellos, se hace por medio de la extracción desde fuera sobre los materiales flotantes, el otro sirve para extraer los materiales pesados que se acumulan en el fondo. Ambos procesos necesitan de una reducción notable de la velocidad del agua hasta que esta sea casi nula o nula.

En los próximos apartados, ampliaremos la información con respecto a estos dos procesos viendo el tipo de instalación, sus bondades, opciones técnicas, las labores de operación y mantenimiento así como los costos del mismo.

Instalación típica

La estructura de la instalación es sencilla, es una estructura de hormigón que se divide en varias partes unidas por orificios que se colocan en la mitad de las paredes que separan la estructura. El objetivo de que estos orificios se encuentren en medio, es que los sedimentos se quedaran en la parte inferior y el material flotante en la parte superior. De esta forma solo el agua limpia seguirá el recorrido mientras que el material a desechar quedará atrapado.

En la figura 20 podemos observar un sedimentador.



Figura 20: Estructura para la sedimentación y la flotación.

A continuación analizaremos ambos procesos por separado.

Flotación:

La flotación es un proceso que consiste en separar las partículas sólidas o líquidas (aceites) del agua. Suelen ser partículas que cuando reducimos la velocidad del agua, las encontramos en la superficie de la misma por lo que podremos extraerlas de una forma relativamente sencilla por medio de la extracción. En muchas ocasiones, varias partículas es posible que se puedan quedar en el interior del depósito y no lleguen a flotar, para que podamos extraerlas, podemos ayudarnos de burbujas de aire a las que se adhieren estas partículas y las elevan hasta la

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

superficie, donde luego se extraen. Este proceso no suele ser muy habitual a nivel domiciliario, pero sí puede darse en el tratamiento común del agua. Las burbujas suelen introducirse desde la parte baja del sistema de flotación y en su camino hacia la superficie es donde se adhieren a las partículas que queremos extraer y las elevan a la superficie. Al tratarse de un proceso de retención de sólidos, debemos de colocar separadores en la parte superior del mismo que eviten que la materia acumulada en la superficie salga del proceso de tratamiento junto con el agua tratada [4]. Periódicamente, el material acumulado en la superficie del agua se debe retirar para que no se acumule demasiado y favorecer el buen funcionamiento del sistema.

Sedimentación:

La sedimentación, por otro lado, es un proceso de pre-tratamiento que sirve para reducir la turbidez del agua y evitar que se acumulen sedimentos en tratamientos posteriores o instalaciones siguientes. En el proceso, se eliminan las partículas más grandes contenidas en el agua, superiores a un diámetro de 0.05mm [2]. Esto facilita tener una turbidez admisible para futuros procesos, como pueden ser los filtros. En ocasiones, generalmente para plantas grandes, también se puede utilizar coagulantes que se adhieren a las partículas más pequeñas que no han sedimentado de tal forma que terminan sedimentando.

Para el proceso, el agua debe de encontrarse en reposo o con una velocidad de movimiento muy lenta, esto facilita la separación por medio de gravedad de las partículas suspendidas, ya que el peso específico de estas es mayor que el del agua y caen al fondo del sedimentador donde se concentran y se deben eliminar periódicamente. Después del proceso, el agua debería de encontrarse más limpia y lista para poder recibir otros tratamientos, evitando la acumulación de estas partículas en futuros procesos y reduciendo el desgaste de los distintos dispositivos que se utilizaran en otros tratamientos [4] [2].

La estructura del sedimentador, suele ser un depósito artificial al aire libre o en ocasiones almacenamientos naturales donde es importante reducir la velocidad del agua hasta que esta sea casi nula o nula.

En ocasiones ambos procesos pueden ir por separado. La flotación tiene una estructura similar a la descrita pero el sedimentador sí puede variar a la forma que describiremos a continuación.

Un sedimentador puede contar con 4 zonas diferentes (ver figura 21), que completan el proceso de sedimentación y quedan descritas en las siguientes líneas.

- Zonas de entrada:

La zona de entrada cuenta con un baffle (pantalla o pared con muchos orificios, tipo malla), que permite la uniformidad del agua y la reducción de su velocidad. Cuenta también con un depósito o vertedero donde se acumula el agua antes de ingresar en la zona de sedimentación.

- Zonas de sedimentación:

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

Es la zona donde ocurre el proceso de sedimentación. Para esto se suele disponer de tanques o depósitos que cuentan con una pequeña inclinación donde se acumularan los sólidos sedimentados. El depósito debe de tener una relación entre largo y ancho de 3 a 1 y el ancho del mismo no debe de superar los 12 metros, ya que de otra forma, se podrían crear corrientes transversales y la profundidad del mismo no debe de ser mayor que 2mts.

- Zonas de salida:

La zona de salida cuenta con un depósito o vertedero, canaletas o tubos perforados que tienen la finalidad de recolectar el agua limpia del sedimentador antes de que esta agua salga del proceso de sedimentación.

- Zona de recolección de lodos:

Se trata de un depósito donde se extrae el material sedimentado que se acumula en la parte inferior del depósito de sedimentación. Ambas zonas están conectadas mediante una tubería por la que se extraen los lodos de forma periódica antes de que la materia acumulada sea muy elevada y pueda dificultar el buen funcionamiento del sedimentador.

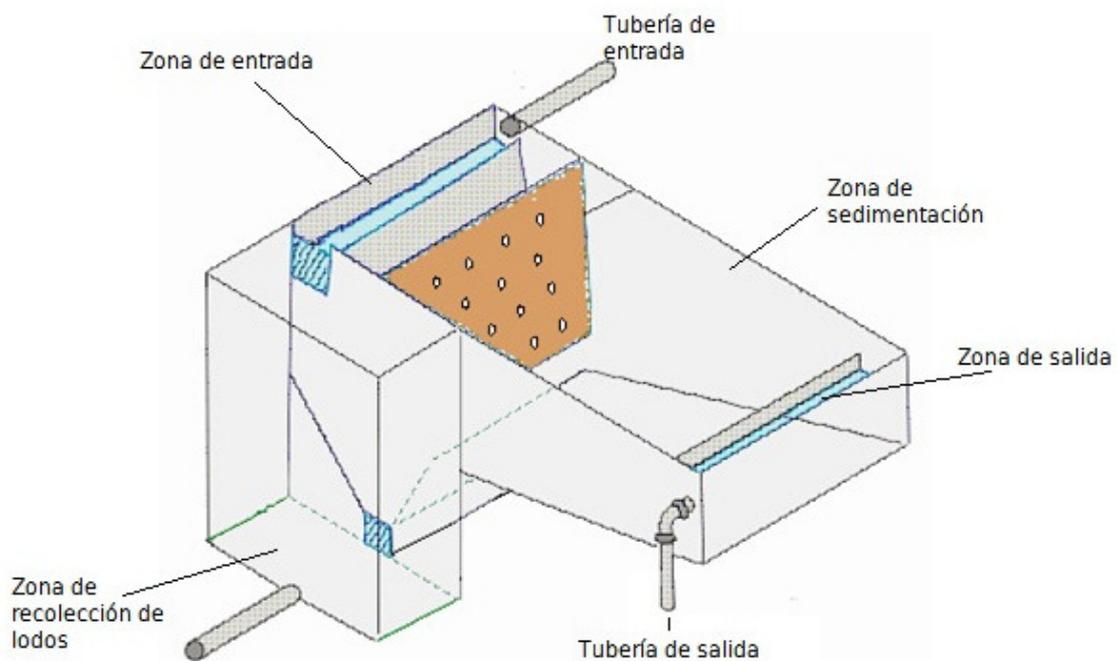


Figura 21: Esquema de un sedimentador [2].

Opciones técnicas

En muchas ocasiones, si nos interesa que sedimenten las partículas más pequeñas, deberemos de utilizar coagulantes para que estas puedan sedimentar ya que si no, lo más probable, es que no sedimenten o tarden demasiado tiempo en hacerlo. Los coagulantes, son sustancias que se utilizan para juntar las distintas partículas de forma que estén aumenten de peso y sedimenten más fácilmente. Los productos más utilizados en estos procesos son el sulfato de aluminio, el sulfato ferroso, el cloruro férrico o el sulfato férrico. De la misma forma, si la cantidad de agua

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

a tratar es pequeña, podemos utilizar productos como la paleta de tuna, un cogollo de habas, limón o san pedro, que realizan la misma función y podemos encontrarlo más fácilmente en la zona. La estructura del sedimentador con coagulantes, es igual que el sedimentador simple, es decir, que esta no sufriría ninguna modificación en el caso de utilizar coagulantes [13].

En la figura 22 se puede observar un sedimentador.



Figura 22: Ejemplo tanque de sedimentación [4].

Operación y mantenimiento

El mantenimiento más habitual en un proceso de sedimentación y flotación es la extracción de lodos y material flotante, estos se deben de extraer antes de que la acumulación de los mismos sea muy elevada. También es conveniente remover las algas que se puedan ir acumulando. Por último, se debe realizar un mantenimiento general de las instalaciones, aproximadamente cada 6 meses, realizando la limpieza exterior, limpiando los alrededores, revisando la instalación por si aparecen desperfectos o grietas y realizando la limpieza y desinfección del mismo. Por último, se recomienda realizar un cerco alrededor de la instalación para evitar la entrada de animales y personas que puedan dañar o contaminar el agua. Es decir, se recomienda seguir con las tareas descritas en los apartados anteriores a este (véase punto [2.1.1.1](#)).

Filtración

Se trata de un proceso de purificación, que consiste en eliminar del agua los microorganismos que no se eliminaron en el proceso previo de sedimentación y la materia en suspensión. Para la filtración, debemos de pasar el agua por materiales y capas porosas que impidan el paso de los microorganismos y solo dejen pasar el agua. Para ello, uno de los materiales más utilizados es la arena. El resultado del mismo es un agua con mejor calidad y sin carga bacteriológica.

Uno de los procesos más utilizados de filtración es el filtro lento de arena [2]. Aparte de este también analizaremos otros tipos de filtros, el filtro de mesa y el biofiltro de arena.

Filtro lento de arena

El filtro lento de arena, es uno de los tratamientos de agua más antiguos del mundo, este tratamiento imita el proceso natural del agua que después de la lluvia esta se infiltra en la tierra ejerciendo como filtro dejando pasar únicamente el agua y no las partículas o sedimentos que esta lleve. El proceso consiste, en que el agua se infiltre durante un tiempo entre 3 y 12 horas en la arena donde las partículas más pesadas se sedimenten y las pequeñas se unen facilitando la remoción de las mismas. Es importante para el proceso que la arena se encuentre libre de material orgánico y sólidos que puedan dificultar y obstruir el filtro. Este proceso, consigue aproximadamente una reducción de bacterias y microorganismos del orden de 80-95% y aparte también mejora el color, la turbidez, el olor y el sabor del agua. Se trata de un tratamiento uniforme, es decir, toda el agua tratada sale aproximadamente con la misma composición y esta es una de las grandes ventajas del sistema. Por último, es importante señalar que este tratamiento es muy recomendable en las zonas rurales o en lugares donde la población sea reducida aunque se trata de un tratamiento que se debe de hacer de forma comunal o publica y no de forma individual.

El filtro lento de arena a través de sus mecanismos físicos y biológicos, destruye los microorganismos haciendo de él una tecnología limpia que no necesita crear otra fuente de contaminación. Durante el proceso, las impurezas quedan atrapadas en las partículas del medio filtrante, desarrollándose procesos de degradación química y biológica que destruyen las partículas atrapadas haciendo que no sean perjudiciales para el uso posterior del agua. Durante el día, la influencia del sol ayuda a la creación de algas que retienen el dióxido de carbono, nitratos, fosfatos y otros nutrientes para crear una capa de biológica. Esta capa, se sitúa en la superficie del medio filtrante y es capaz de atrapar y destruir la mayoría de restos orgánicos que contiene el agua antes de que estos lleguen al filtro. Una vez el agua este en el filtro, la característica más importante del mismo es la capacidad de adherencia a las partículas de arena. En las zonas libre, aproximadamente el 40% de la superficie suele ocurrir un proceso de sedimentación.

En la figura 23, podemos observar una estructura que bien podría ser un filtro lento de arena.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

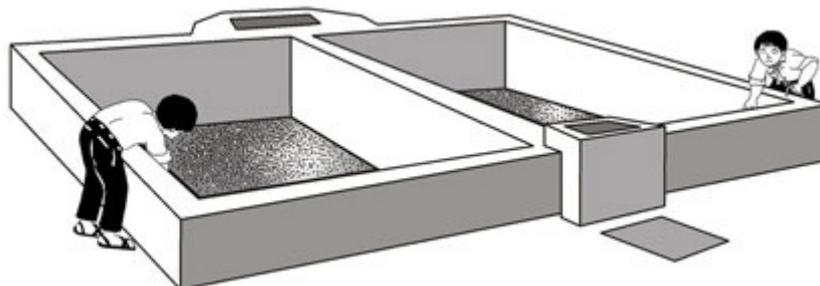


Figura 23: Filtro lento de arena [49].

Instalación típica

Los filtros lentos de arena, suelen ser estructuras de hormigón que constan de dos filtros conectados entre sí, de tal forma que cuando uno de ellos deja de funcionar, bien sea por mantenimiento, por avería o por otras causas el otro sigue funcionando normalmente y el usuario podrá seguir disfrutando del servicio.

El sistema, puede requerir de tratamientos previos como el sedimentador que eliminan del agua partículas que puedan dificultar o dar el filtro. La estructura, tiene un coste inicial alto pero resulta muy útil en zonas rurales o pequeñas comunidades ya que los materiales se pueden encontrar en la zona de uso y el mantenimiento del mismo es sencillo y casi nulo por lo que hace rentable la inversión inicial de la estructura [39]. Otro de los inconvenientes para su implantación es el gran tamaño que se necesita para su construcción.

El filtro lento resulta muy fácil de operar no siendo necesaria la aportación de otros productos como coagulantes. Suelen ser instalaciones simples que los propios usuarios pueden construir, operar y mantener.

El filtro lento, no está exento de desventajas, la más importante de ellas es la necesidad de tener un espacio grande para realizar el tratamiento. Esto es debido a que la velocidad de filtración es muy lenta y requiere de grandes espacios para realizarse.

Por otra parte, el tratamiento no es muy eficaz frente a aguas turbias mayores de 40 PPM por ello, es necesario o recomendable realizar un tratamiento previo antes de que el agua entre en el filtro lento donde podamos reducir la turbidez del agua entre otras cosas [13].

Operación y mantenimiento

El mantenimiento preventivo que se le debe de dar a la planta, es el mismo que en el resto de instalaciones explicadas en el apartado previo (véase punto [2.1.1.2.1.2.3.](#)). Conforme transcurre el tiempo, es posible que parte de la capa de arena depositada en el filtro en el momento de su construcción vaya desapareciendo, por ello, es recomendable cuando detectemos el descenso de esta ir reponiéndola. En muchas ocasiones también, detectaremos que el filtro funciona más lento de lo normal o no en su plena eficacia, cuando nos pase este problema debemos de remover y limpiar las capas superiores de arena para que pueda volver a funcionar correctamente. Este problema suele ser debido a que el filtro se obstruye con el material que sedimenta y retiene habitualmente.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

Para que la película bacteriana de un filtro funcione correctamente, esta deberá de tener un tiempo de maduración de entre 1 y 4 meses luego es la formación de estas colonias las que se encargan de la remoción de las impurezas orgánicas y las bacterias. Esta capa, suele estar colocada en una capa sobre la superficie del lecho filtrante y llega a penetrar en torno a 4 cm sobre la arena. A la hora de remover las primeras capas de filtro también moveremos esta capa por lo que deberemos de tener en cuenta que al reinstalarla el filtro no funcionara como antes de no hacerlo. Para ello, lo que también se realiza es quitar parte de la capa bacteriana antes de la remoción para luego volver a colocarla.

Uno de los problemas de estos filtros es que la arena tarda un tiempo en lograr su máxima eficacia una vez construida la instalación. Durante este tiempo, el agua que pasa por el filtro debemos de desecharla ya que al no ser el filtro eficaz el agua sigue contaminada. Una alternativa a este problema es usar arena de otros filtros que ya se encuentren a pleno funcionamiento y de esta forma desde primer momento el filtro podrá funcionar con total normalidad y el agua realizara el tratamiento adecuado.

Costos

El costo inicial del mismo, también es dependiente del espacio que se utilice y como es grande, el precio inicial también lo es, pero a la larga resulta ser más rentable frente a otros tratamientos ya que el mantenimiento del mismo es casi nulo.

Filtro de mesa

El filtro de mesa es una tecnología de tratamiento de agua que por medio de la desinfección y la filtración trata pequeñas cantidades de agua y las deja listas para el consumo humano. El recurso hídrico se tiene que encontrar con poca turbiedad y baja carga bacteriológica antes de ingresar en el filtro de mesa, ya que si no su tratamiento no será efectivo. Este sistema, suele resultar ser bastante eficaz y muy útil ya que su funcionamiento resulta muy sencillo. Otra de las ventajas es que el propio usuario va a poder construir el sistema, no siendo demasiado elevado su costo y va a poder observar desde el exterior todo el proceso de tratamiento. En cambio, es un sistema que trata pequeñas cantidades de agua y la durabilidad del mismo no es muy grande, por lo que periódicamente, deberemos de sustituir o construir un nuevo sistema viéndose perjudicada la sostenibilidad del mismo [7]. La desventaja del mismo, es que pese a sus ventajas todavía no está muy implantado en la Zona Andina y se puede decir que es una tecnología que todavía está por investigar.

Instalación típica

Los sistemas de filtro de mesa, consisten en dos baldes del mismo tamaño conectados entre sí por medio de unos orificios, como podemos observar en la figura 24. En el primero colocaremos un material filtrante como arena y las velas de cerámica que sirven como recolectores del agua ya tratada para que esta pase al segundo balde. Este segundo balde, nos servirá de almacenamiento del agua previamente filtrada y dispondrá de un grifo por el que podamos obtener el agua facilitando el uso del mismo [39].

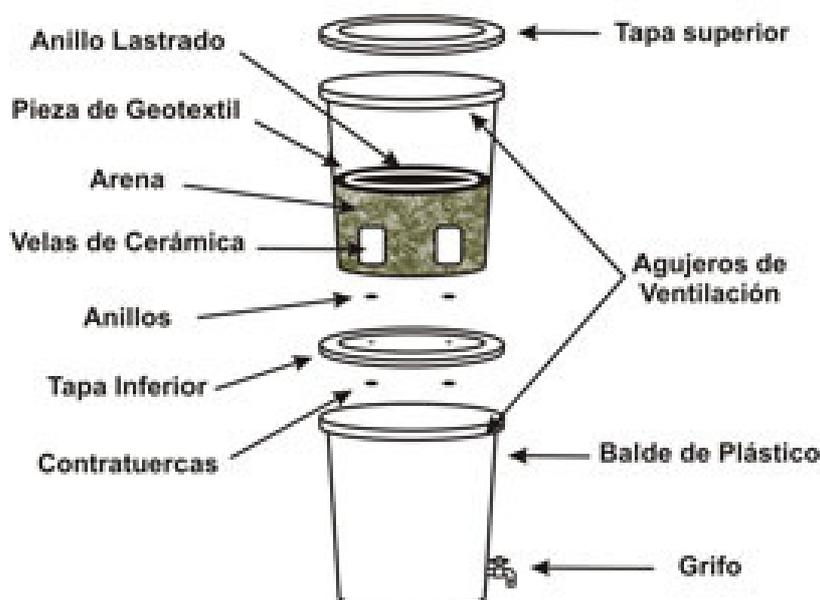


Figura 24: Esquema de un filtro de mesa [49].

Operación y mantenimiento

Las labores de operación y mantenimiento resultan muy sencillas ya que no tiene ninguna tarea en particular y al tratarse de un tratamiento domiciliario tampoco son necesarias las tareas

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

recomendables para los exteriores. Lo que si deberemos de tener en cuenta es la higiene personal de los usuarios y manipuladores del sistema para no contaminar el agua de consumo.

Costos

El filtro de mesa es uno de los sistemas más baratos y simples del tratamiento domiciliar, el mantenimiento es casi nulo y el coste unitario es aproximadamente 15 \$. El problema de estos sistemas es que tiene una vida útil muy corta y cuando la vida útil de los mismos llega a su fin debemos de reponer el sistema por completo con el mismo coste inicial.

Biofiltro de arena

El biofiltro de arena es uno de los procesos de filtración más utilizados. Este proceso resulta muy útil cuando el agua no ha recibido ningún tratamiento previo. Se trata de un sistema de tratamiento de agua que imita la función de la tierra o la del filtro lento pero a pequeña escala. Contiene una pequeña innovación, una capa biológica que se forma naturalmente en la superficie del agua (capa de agua que se encuentra encima de la arena fina que ejerce como filtro). La función de esa capa bacteriana, consiste en eliminar las bacterias dañinas presentes en el agua. Por lo tanto, las bacterias presentes en la capa de agua eliminan las que vienen en el agua a tratar.

El sistema se suele utilizar a pequeña escala en los propios hogares de los usuarios. Principalmente sirve para reducir la turbiedad del agua y parte de los patógenos presentes en el mismo. Respecto al tratamiento, el filtro de bioarena, consigue reducir en un 99.9% las bacterias así como en un 99% los virus presentes en el agua. Entre otras cosas, resulta eficaz con el hierro y en la eliminación completa de los huevos de gusano presentes en el agua. Por el contrario, existen otros inconvenientes. No es capaz de solucionar el color de las aguas y no puede eliminar las sustancias químicas orgánicas o la salinidad y el arsénico presentes en el agua.

El proceso de filtración se da en un tanque que contiene una capa de arena fina y donde se crea una capa biológica. Para el funcionamiento del biofiltro, primeramente, el agua pasa por un difusor que tiene la función de diversificar el flujo del agua. Esta fluye verticalmente y las partículas en suspensión, así como las bacterias presentes en el agua, se quedan atrapadas en la capa biológica y en el material filtrante. El agua sale desde el fondo del tanque, donde se encuentra un filtro de recolección que recolecta el agua ya tratada después de pasar por la zona de arena, otra capa de arena más gruesa y grava.

Durante el proceso, en la capa biológica, se desarrollan partículas o bacterias buenas que eliminan el resto de bacterias y partículas presentes en el agua que sean perjudiciales para la salud por lo que el sistema resulta ser útil para la remoción de compuestos orgánicos.

FILTRO BIOARENA

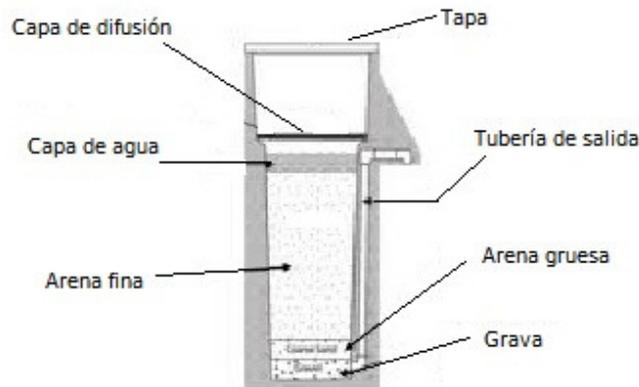


Figura 25: Esquema biofiltro de arena [49].

Después de la capa biológica, se encuentra la capa de arena fina que retiene la mayor parte de los contaminantes y la suciedad. Para finalizar existen otras dos zonas, una zona de arena más gruesa y otra de grava. La primera, sirve para separar la capa de arena fina de la de grava y la segunda, tiene la función de ayudar y mejorar el drenaje del agua tratada dirigiéndola hacia la salida del filtro [1]. El agua sale por la parte de abajo del filtro por medio de unos recolectores que dirigen el agua hacia el grifo, lista para ser utilizada.

El problema de estos filtros es que las partículas y bacterias atrapadas en el mismo se deben de remover y limpiar periódicamente para tener un buen uso del sistema [39]. Otro de los problemas de los mismos, es que no es capaz de purificar el agua por completo y que una vez que construimos un filtro nuevo, para que este funcione correctamente deben de transcurrir aproximadamente entre 2 o 3 semanas ya que la capa bacteriana no estará creada en las primeras semanas de funcionamiento. Una de las soluciones a este problema puede ser que se tome parte de una capa bacteriana de otro filtro que esté funcionando correctamente y colocarla en el nuevo filtro [7]. Esta acción ayudaría a que el funcionamiento del filtro fuera el ideal desde el primer momento.

Instalación típica

El filtro de bioarena tiene los siguientes componentes: recipiente, puede ser de plástico, ferro cemento o hormigón y con una tapa para proteger el agua de dentro frente a la contaminación externa, un tubo de entrada y otro de rebose así como un sistema de salida con grifo. El recipiente, es habitual que tenga entorno a los 60 cm de altura. Luego por dentro del mismo se debe de colocar las capas de arena fina, gruesa y grava para eliminar los sedimentos presentes en el agua, los patógenos u otras impurezas del agua. La arena del recipiente, debe de encontrarse libre de impurezas, limpia y exenta de arcilla o polvo. La primera parte de arena fina suele tener un diámetro entre 0.25mm y 0.35mm. En cambio, la grava, suele tener un diámetro entre 3mm [7]. La capa de grava suele tener aproximadamente unos 7.5 cm de altura, la capa de arena gruesa en cambio tiene una altura aproximada de 5cm y encima de

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

esta se coloca la capa de arena fina. En la figura 26, de debajo podemos distinguir las distintas partes del sistema del biofiltro.

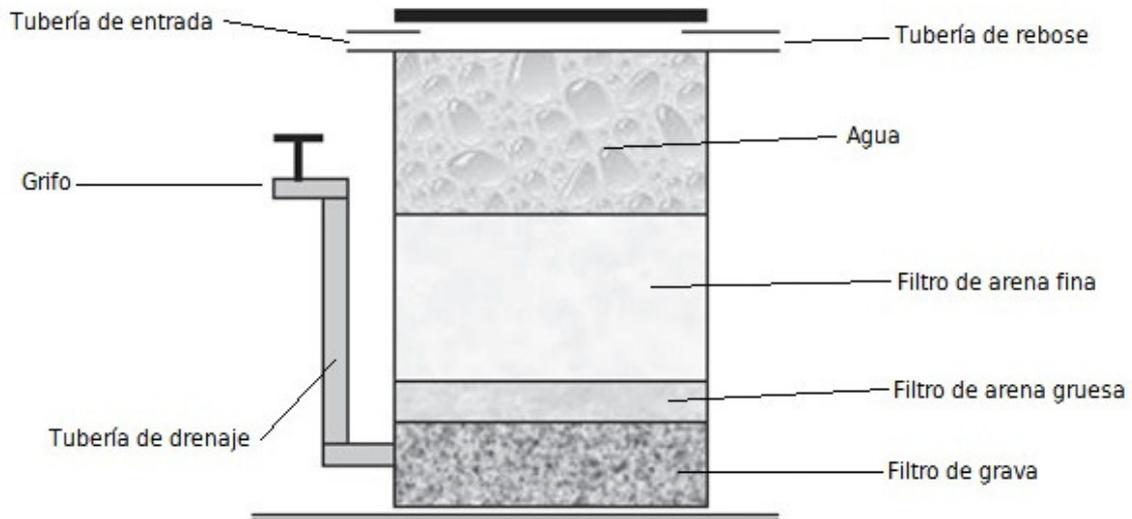


Figura 26: Esquema filtro de bioarena.

Para el buen uso del sistema, también resulta importante colocar la tubería de salida y el grifo mínimo 5 cm por encima de la capa límite de arena fina, esto ayudará a mantener la capa filtrante húmeda y favorecer la operación del filtro.

Una vez el agua salga del proceso de tratamiento, existe la posibilidad de aplicar el proceso de cloración al mismo para mayor seguridad de consumo pero resulta importante que no se arroje cloro al filtro, ya que se deterioraría.

El filtro de bioarena suele construirse con los mismos materiales de la zona, de tal forma que esta sea fácil de conseguir y operar de forma que esto reduzca los costos de instalación y pueda ser el propio usuario o la comunidad que instale el sistema quien la opere y mantenga.

Opciones técnicas

Para los filtros de bioarena, existe la posibilidad de implementar un sistema adicional dentro de la estructura del filtro, este tiene la función de retener las partículas de arsénico que están presentes en el agua y el biofiltro con su estructura normal no es capaz de retener. Esta opción tecnológica consiste en colocar en la parte superior del filtro (antes de la capa de agua donde encontramos las bacterias biológicas) un cesto con aproximadamente 5 kg de clavos de hierro (no galvanizado), con trozos pequeños de ladrillo que sirvan para dar consistencia al cesto e impedir la movilidad de los clavos dentro del mismo debido a la acción del agua al caer sobre ellos. Los clavos de hierro, se oxidarán rápidamente por el contacto con el agua y el oxígeno convirtiéndose los clavos en un excelente absorbente del arsénico. Con el paso del tiempo, puede suceder que partículas de hierro con el arsénico caigan al filtro pero al ir conjuntos estas partículas quedaran atrapadas en el mismo filtro.

El esquema de este tipo de biofiltros lo podemos observar en la figura 27.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

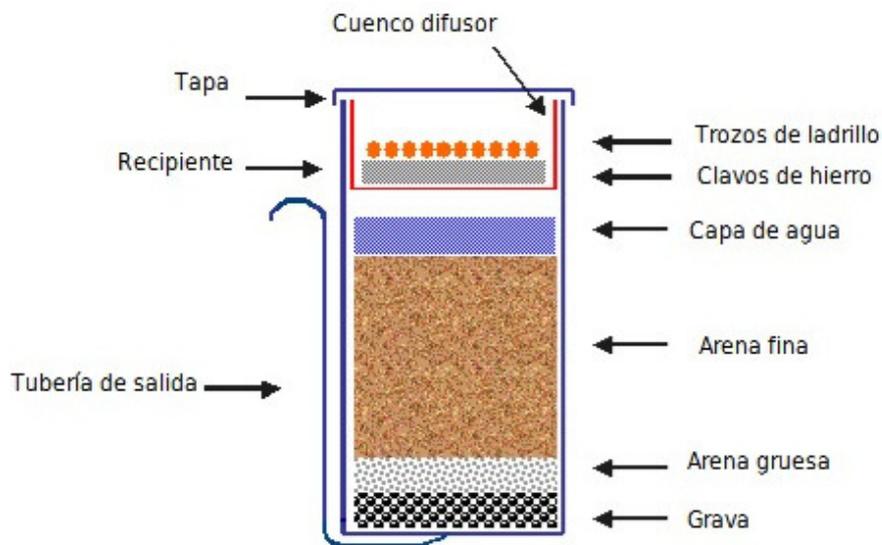


Figura 27: Filtro de bioarena para la remoción de arsénico.

Operación y mantenimiento

El mantenimiento del filtro suele ser sencillo y realizable por los propios usuarios sin necesidad de contratar o formar a una persona que se ocupe del mismo. La primera recomendación es que este se encuentre en la cocina, para facilitar su uso y manejo. Luego resulta importante que el filtro reciba agua mínimo cada 48h, de no hacerlo, estaremos corriendo el peligro de que proliferen contaminantes al igual que no debemos de arrojar al filtro productos como el cloro. La función de mantenimiento más importante del mismo, es remover la capa de bacterias (5 cm.) y partículas acumuladas sobre el filtro de arena fina cada cierto tiempo, así como remover la capa superior de arena fina (capa de agua que queda al inicio de la capa filtrante) y cambiar la capa de agua fina que contiene la napa bacteriana por agua limpia. El mantenimiento del mismo, también incluye revisar la instalación y arreglar todos los desperfectos que puedan aparecer rápidamente, para no perjudicar la instalación ni su funcionamiento así como limpiar la instalación completa periódicamente. En caso de que la capa de arena se encuentre muy deteriorada, está la podremos sustituir, pero es importante conservar la capa bacteriana para que cuando comencemos con el nuevo filtro este siga funcionando correctamente [1].

Es posible saber cuándo es necesario el mantenimiento si nos fijamos en el tiempo que tarda en salir el agua una vez lo introducimos en el filtro o en el tiempo que la misma permanece en el filtro, ya que si esta es menor que lo normal es señal de que debemos de realizar el tratamiento.

Costos

El costo del sistema suele ser bajo, aproximadamente unos 50\$. Es fácil de realizar y por lo tanto fácil de reconstruir una vez allá finalizado su periodo de vida útil. Aparte, el mantenimiento tampoco es tan grande por lo que es un sistema de bajo coste (con remplazo cuando termine su vida útil) y poco mantenimiento. Esto hace que resulte ser uno de los tratamientos de agua domiciliarios más importante.

Desinfección

Los procesos de desinfección sirven para poder eliminar del agua los organismos patógenos presentes en el mismo. Los procesos más importantes de desinfección, son los que utilizan cloro o yodo o los que se realizan por medio del calentamiento del agua, ya sea este de forma natural (desinfección solar) o por la ebullición del recurso hídrico. A continuación analizaremos estas opciones.

Cloración

El proceso de desinfección del cloro actúa principalmente en el olor, gusto, color y la eliminación de la materia orgánica, pero debemos de tener cuidado en no pasarnos respecto a la cantidad de cloro que arrojamos al agua, ya que podemos generar el efecto contrario y hacer que sea perjudicial para la salud humana cambiando el sabor del mismo. Otro de los problemas de la utilización del cloro, es que su efecto no es prolongado a lo largo del tiempo, es decir, su acción es residual, aparte el cloro no resulta muy eficaz cuando el agua a tratar se encuentra con un grado de turbidez elevado.

Instalación típica

La cloración en muchas ocasiones se utiliza en tratamientos domiciliarios, es decir, cada usuario con las capacitaciones pertinentes puede realizar este tratamiento en su propio domicilio asegurándose que el agua que consume (aunque pueda estar previamente tratada) este tratada por la cloración. Este tratamiento, en ocasiones se realiza en distintos puntos del sistema de abastecimiento de agua, como puede ser en las propias tuberías o el depósito principal.

Para los siguientes apartados definiremos cloración como el proceso que se realiza a pequeña escala, domiciliar o de forma permanente en pequeñas cantidades en las distintas estructuras del proceso de abastecimiento de agua, mientras que definiremos como desinfección aquel proceso que utilice gran cantidad de cloro, volviéndose perjudicial para la salud, y el objetivos sea limpiar y realizar un mantenimiento de las distintas estructuras.

La cloración mata los virus, parásitos y las bacterias de forma permanente y no deja que estos se reproduzcan. La cloración, se realiza con un porcentaje bajo de cloro y existen distintos métodos que proporcionan una desinfección constante del agua. Estos pueden ser a nivel domiciliar o en los depósitos y tuberías por el uso constante de cloro que se mezcla en el agua de consumo humano. Una vez tratada el agua por este método esta suele ser apta para el consumo humano.

En cambio, para la desinfección se utilizan cantidades grandes de cloro con el fin de desinfectar los aparatos y las distintas estructuras del sistema y el agua con tanta cantidad de cloro nunca es para consumo humano. Esta desinfección, se hace un par de veces al año, cuando se estropee la instalación o al inicio del funcionamiento de la misma. El proceso de desinfección acaba con bacterias, parásitos y virus en tan solo unas horas por ello es

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

importante que después del proceso aclaremos con agua la instalación desinfectada y retiremos esa agua que tendrá mucha cantidad de cloro [77].

Los métodos más utilizados para la cloración son los que se realizan en el depósito y pueden ser mediante un hipoclorador o por un sistema de goteo.

Si nos decidimos por el hipoclorador como cloración de agua frente al sistema por goteo, este se colocará en una base colgando desde el techo del depósito principal y cerca de la tubería de salida. Cuando tengamos cloro al 30 % se debe realizar una masa formada por dos kilos de cloro y agua para colocarla en la base de forma que quede una masa sólida y consistente. Aproximadamente esta operación se debe realizar cada mes. Si el cloro no es al 30%, deberemos de arrojar la cantidad equivalente de acuerdo al porcentaje de cloro que tenga el producto obtenido.

En cambio, si colocamos un sistema por goteo, solo nos tendremos que preocupar de que el depósito tenga cloro. El problema de este sistema, es que dependiendo de la capacidad del depósito o del porcentaje de cloro debe de tener un régimen distinto y estos dan problemas. Pero por lo general este sistema es mejor que el hipoclorador ya que necesita de menos operaciones y mantenimiento y la repartición del cloro resulta más homogéneo.

Uno de los problemas que nos encontramos ahora para el tratamiento con cloro, es que antes se vendía en una concentración de 30 o 33 % y ahora esta concentración no existe en el mercado. Por ello, mucho material que encontramos esta referenciado con estos porcentajes y puede llegar a confundirnos. El problema tiene fácil solución, debemos de encontrar cloro en el mercado y fijarnos en el porcentaje de concentración del mismo. Una vez sabido el porcentaje de cloro en el producto escogido, aplicamos a la mezcla el valor correspondiente para el porcentaje que queremos. Si para un porcentaje del 30% utilizamos x cantidad de cloro, para uno del 90% utilizaremos $x/3$. Es decir, para determinar cuándo utilizamos debemos de hacer una división. En nuestro ejemplo $30/90$ y multiplicar el resultado a la cantidad de cloro que aportamos con el 30%.

Opciones técnicas

Para la desinfección con cloro, existen varios tipos de productos que podemos utilizar, pero a continuación compararemos los más utilizados en las zonas rurales, el hipoclorito de sodio (lejía) y el hipoclorito de calcio. La lejía, en comparación con el hipoclorito de calcio, tiene la ventaja de que su utilización es sencilla, es fácil de mezclar, no obstruye el clorador y se puede comprar de forma segura en muchos sitios. Se disuelve fácilmente en contacto con el aire pero no es tan fuerte como el hipoclorito de calcio. También resulta más cara que el hipoclorito de calcio.

Tanto la lejía como el hipoclorito de calcio lo podemos encontrar en el mercado en distintos porcentajes que deberemos de analizar antes de su utilización para poder calcular la cantidad de cloro que debemos de utilizar en cada desinfección o cloración. Habitualmente, podemos encontrar lejía al 10% de cloro e hipoclorito de sodio al 33%. Esto significa que para la desinfección del sistema, para un balde de 20l debemos de arrojar 6 cucharadas de hipoclorito

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

de calcio o 18 de lejía. La cuchara a utilizar es una sopera. Este es un ejemplo de utilización pero si los porcentajes de cloro varían deberemos de arrojar el porcentaje equivalente a los datos proporcionados [77].

Operación y mantenimiento

Para la utilización del cloro con los porcentajes apuntados anteriormente, debemos de tener en cuenta varias pautas para su buena utilización y para que esta no pueda dañar al operario ni a las personas que se encuentren cercanas. Lo primero que debemos de tener en cuenta es que cuando utilicemos cloro, nunca se debe de quedar una persona en un lugar cerrado donde se haya arrojado cloro. Para manipular el cloro, se debe de hacer en un lugar con mucha ventilación y con el equipo de protección corporal adecuada, gafas, casco, botas, ropa adecuada y guantes. Se debe de evitar que la gente se acerque al lugar mientras se trabaja con el químico.

Para la utilización del mismo en la desinfección de un sistema, deberemos de limpiar la instalación a desinfectar, todos sus alrededores de maleza y basuras, vaciar la instalación cerrando y abriendo las tuberías destinadas a ello, limpiar el interior de la instalación de los materiales que hayan sedimentado en el mismo y hacer la mezcla correcta en un balde de 20 litros de agua. Con la mezcla del balde, procedemos a la limpieza de las paredes, techo, suelos etc. teniendo en cuenta que si es un sitio cerrado esto lo deberemos de realizar solo con agua. Una vez terminada la limpieza, arrojamos el resto de mezcla del balde de 20l a la estructura de limpieza, la mezclamos con agua, esperamos el tiempo necesario para que esta haga su efecto y luego procedemos al vaciado de la mezcla acuosa. El tiempo de espera suele depender de la cantidad de cloro que hayamos utilizado. Por último, cuando todo esté perfectamente limpio volvemos a llenar la instalación y procedemos al funcionamiento normal de la misma. Para la realización de este proceso, puede ser de gran ayuda que el propio depósito cuente con un grifo al que podamos acoplar una manguera que nos ayude en las labores a realizar.

Sin duda alguna, dependiendo de la capacidad de instalación o el tipo de la misma el proceso puede variar en pequeños detalles pero el proceso a seguir básicamente es el descrito arriba.

Para el proceso de cloración, pese a existir varios métodos, el más habitual es la cloración por goteo que se realiza en el propio depósito y que se programa que cada cierto tiempo caiga una gota de cloro al agua. El tiempo de caída de la gota varía según el tamaño de la instalación y porcentaje de cloro. Los beneficios de este frente a otros es que la cloración es más homogénea que otros métodos [77].

Costos

Respecto a los costos del propio sistema, como vemos, este resulta no ser muy caro y depende exclusivamente del precio del desinfectante en el mercado. Este dependerá del que elijamos y de las cantidades que utilicemos en cada caso.

Para su buena utilización, es necesario que una persona se forme y sepa cómo realizar estas tareas. Esto no es complicado por lo que puede hacerlo cualquier persona y se ahorrarían los costos que puedan derivar de la contratación de personal para esta labor.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

SODIS

La desinfección solar es otro de los métodos para poder tratar el agua antes de su consumo humano que destruye los microorganismos patógenos presentes en el agua. El agua se coloca en botellas o baldes de plástico que se exponen al sol durante aproximadamente 6h y que por medio de la radiación del mismo se eliminan los microorganismos. Para que esto ocurra, el agua deberá de encontrarse a una temperatura entre 40 y 100°C y en combinación con los rayos UV. La desinfección del agua por este método, resulta más efectiva cuanto más radiación y temperatura tengamos, aparte, resulta fundamental en el proceso que sea la combinación de ambos factores (temperatura y radiación), los que actúen debido a que si lo hacemos cada uno por separado el resultado del tratamiento no sería tan eficaz como con la combinación de ambos por la que lograríamos una mejor desinfección del agua [7]. Como alternativa, podemos utilizar el papel de aluminio o la pintura negra para que esta favorezca y retenga la radiación solar, acelerando el proceso o haciéndolo más eficaz en los lugares donde la radiación sea escasa. La combinación de ambos efectos, es más eficaz que cualquiera de ellos por separado, por ello, cuanto más temperatura y más radiación lograremos una mejor desinfección.

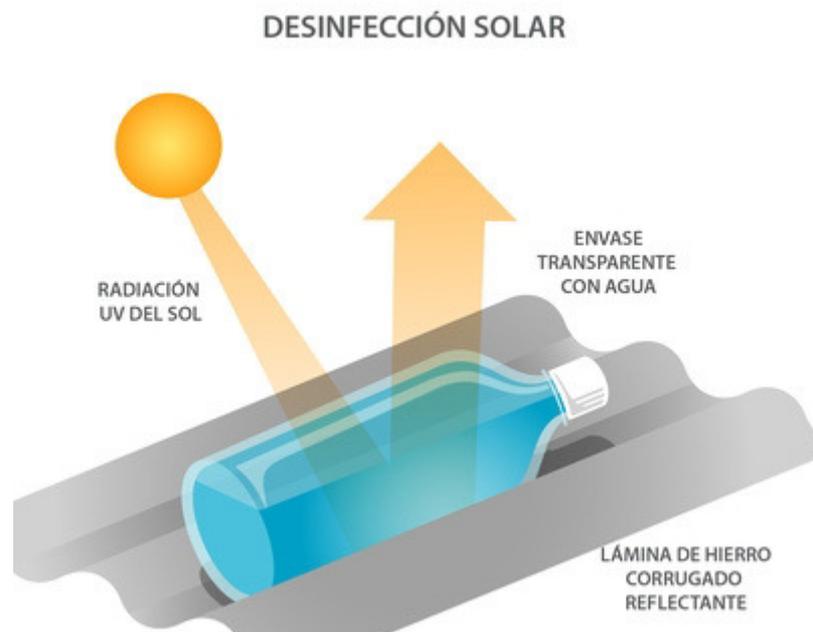


Figura 28: Ejemplo funcionamiento desinfección solar [56].

Este sistema tiene la ventaja de no ser muy costoso y resulta ser muy útil para las familias con poco poder adquisitivo ya que no requiere de grandes estructuras, el mantenimiento es casi nulo y encima utiliza los recursos naturales para su funcionamiento, evitando de esta forma la compra y utilización de productos adicionales. Por el contrario el sistema no puede realizarse con grandes cantidades de agua y solo es viable con pequeñas cantidades del recurso hídrico. Otro de los inconvenientes del mismo, es que este proceso por sí solo no es útil para cambiar la composición del agua para lo cual deberemos de realizar el proceso de desinfección solar

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

junto a otros tratamientos. La desinfección solar, es también un proceso dependiente de los recursos naturales, por ello no puede realizarse en cualquier sitio y necesita de las condiciones adecuadas para ser efectivo, la más importante de todas es la radiación solar siendo inviable el proceso en lugares donde esta no sea muy elevada [7].

En la Zona Andina, este proceso puede dar algún problema debido a que la temperatura en zona alta no es la adecuada pese a que la radiación solar si lo sea y como hemos comentado anteriormente es importante la combinación de ambas para un buen uso del sistema.

Operación y mantenimiento

Si utilizamos este sistema las operaciones de mantenimiento son prácticamente nulas por no decir nulas. La única labor que se debe hacer regularmente es ir sustituyendo las botellas y los papeles de aluminio conforme estos se desgastan, que es algo que sucede habitualmente debido a lo explicado en el apartado anterior.

Costos

Como sabemos se trata de un sistema muy barato que no requiere de grandes inversiones, de hecho la inversión por vivienda se sitúa entre 2 y 5 \$. Por lo que resulta un sistema muy barato, pero deberemos valorar también las ventajas y desventajas del sistema no solo los costos. El mantenimiento del mismo es prácticamente nulo, por lo tanto tampoco eleva los costos de mantenimiento.

2.1.1.2.4.- Depósito de almacenamiento

Aparte del almacenamiento del agua, el depósito tiene otras funciones que hacen de él una de las partes más importantes del sistema. También veremos, como en los apartados anteriores la forma de funcionamiento, sus partes así como los costos, opciones técnicas y el mantenimiento que se debe realizar para su buen funcionamiento.

Principio general de funcionamiento

El depósito es una de las partes más importantes del sistema de abastecimiento de agua. Este se suele colocar cerca del punto de consumo, pero en un punto más alto y estratégico para que el sistema de abastecimiento pueda fluir bien y llegar a todos los puntos de consumo en las condiciones adecuadas.



Figura 29: Depósito de hormigón armado con tapa metálica.

Este, tiene la función de almacenar el agua y regular las presiones del sistema para que el agua llegue a todas las casas en las condiciones y cantidades adecuadas. Resulta importante regular bien las presiones debido a que podemos tener problemas de sobrepresión o de baja presión en los puntos más altos y bajos de consumo y esto se puede regular colocando en el punto adecuado el depósito. En la figura 29 podemos observar un ejemplo de depósito.

El depósito, debe de estar preparado para almacenar y satisfacer la demanda máxima diaria existente en cualquier momento, incluso en ocasiones, un poco más de esta por si pueden surgir incidencias para las que pueda ser necesario utilizar una cantidad de agua un poco mayor a la demanda máxima. Por ello, el depósito debe de ser capaz de proporcionar servicio en distintos casos de emergencia así como garantizar el suministro aun cuando tenemos una avería aguas arriba del depósito. Por lo cual, en muchas ocasiones se diseña el depósito con una capacidad mayor de la necesaria para cubrir el volumen adicional del agua necesaria en casos de emergencias.

Es necesario también, para no sobrecargar el depósito, que siempre exista un margen de unos 0.2 m entre la superficie del agua y el techo del depósito.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

Instalación típica

Suele ser un depósito grande de hormigón que puede estar apoyado o elevado (para regular las presiones) y suele tener una caseta de válvulas desde donde se regula la entrada, salida, rebose y limpieza del mismo. A continuación desglosaremos las distintas partes de un depósito:

- Caseta de válvulas: se encuentra adyacente al depósito y suele tener las válvulas de control de las distintas tuberías. Estas pueden encontrarse pintadas para facilitar el reconocimiento de cada una de ellas. En esta caseta deberían de coincidir la tubería de entrada, salida, tubería de limpia, otra de rebose y una tubería llamada By – pass.
- Tubería y válvula de entrada y salida: La primera de ellas de color azul y la segunda de color verde, cada una con su válvula de paso y tienen la función de ser las tuberías por donde entra y sale el agua del depósito.
- Tubería de limpieza y rebose: Normalmente de color negro. La primera es una tubería que nos garantiza la limpieza del depósito y la segunda sirve para descargar agua cuando este se encuentra lleno.
- Tubería By-pass: Pintada de color rojo se trata de una tubería que conecta la tubería de entrada con la de salida. Sirve para cuando necesitamos cerrar la tubería de entrada al depósito, que el agua pase directamente a la tubería de salida de forma que no se interrumpa el servicio. Esta última tubería, en las instalaciones pequeñas de pocos usuarios no se suele colocar, pero esto supone una molestia para los usuarios ya que se cortaría el suministro durante las horas en las que el depósito no se encuentre operativo [13].
- Depósito: Tiene la función de almacenar el agua, los distintos elementos del depósito y regular las presiones.
- Grifo: Se utiliza para facilitar las labores de limpieza.
- Tapa metálica: Sirve de protección para que nadie pueda acceder al interior del depósito.
- Tubería de rebose: Sirve para evacuar agua antes de que el depósito se sobrecargue.
- Tubería de ventilación: consiste en una tubería en forma de U invertida que se conecta con el exterior para ventilar el interior del depósito. Esta deberá de ir debidamente protegida con una malla para evitar la entrada de insectos que malogren la instalación. La forma en U invertida es para evitar la entrada de agua de lluvia en la instalación.

En la figura 30 que viene a continuación, podemos observar las distintas partes de un depósito que hemos explicado anteriormente.

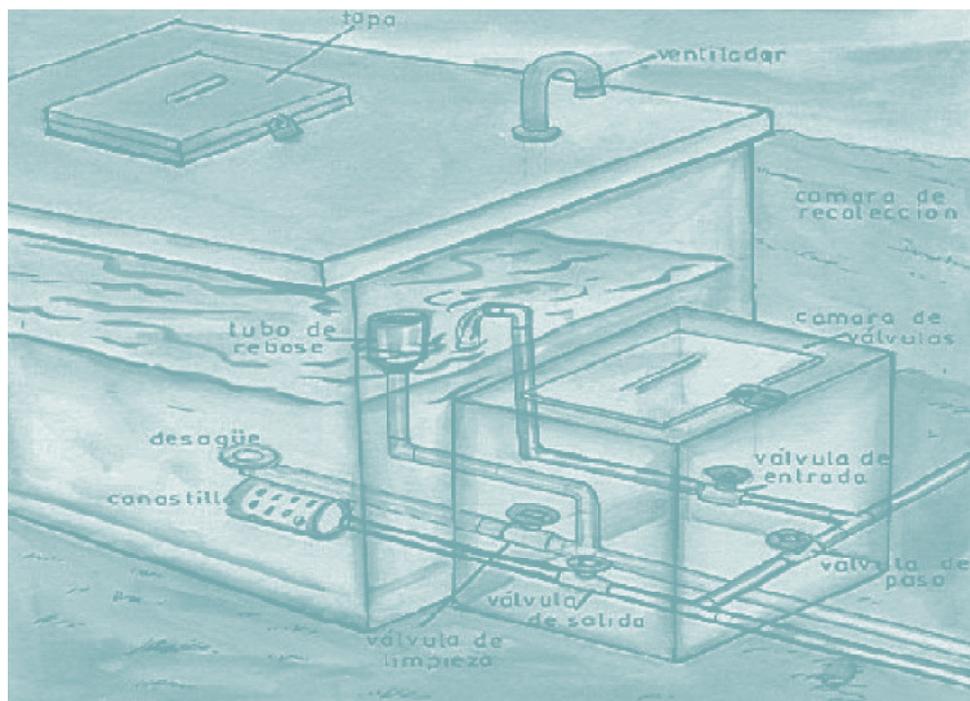


Figura 30: Esquema del Depósito con la tubería de ventilación.

Como hemos visto anteriormente, el depósito también debe de garantizar una presión adecuada del sistema, para ello, es necesario que el depósito se encuentre elevado respecto al punto de consumo y en muchas ocasiones elevado respecto al suelo. En las zonas rurales con pendiente, esto resulta poco habitual ya que el propio terreno normalmente proporciona las características adecuadas para colocarlo en lugares más altos que el punto de consumo, sin necesidad de tener que elevar el depósito.

Aparte de lo descrito en este capítulo también deberemos de seguir los consejos dados al principio del capítulo del manual que ayudaran en su buen funcionamiento y mantenimiento (véase punto [2.1.1.1.](#)).

Opciones técnicas

Las variaciones técnicas en los reservorios no son muchas y las pocas que pueden realizarse no son muy notables. Dentro de las distintas partes del sistema podemos prescindir o no de la tubería by-pass o del grifo. Pero las variaciones más notables son las siguientes:

- Un depósito puede ser elevado o estar a la altura del suelo. En el caso de optar por un depósito elevado, deberemos realizar un estudio previo acerca de la estructura que lo soportara para que este no llegue a caerse con el peso que albergara el depósito una vez esté lleno y tener en cuenta los problemas que puedan surgir ajenos a la instalación, me refiero a la acción del viento, movimientos de tierras....
- La otra variación es con respecto a la forma, normalmente suelen ser depósitos rectangulares, pero a veces también redondos, pudiendo adoptar cualquier otra forma.

Aparte de estas dos modificaciones, en los depósitos es habitual instalar un tratamiento por medio del cloro. Este puede ir desde un hipoclorador, que cuelga mediante una cuerda, o el sistema por goteo que deja escapar una gota de cloro cada cierto tiempo.

En ambos casos, en menor o mayor medida se clora el agua. Las dificultades llegan cuando el depósito llega al nivel de rebose. En este estado, el agua que previamente se ha estado clorando en el depósito se escapara por la tubería de rebose para no sobrepasar la capacidad del reservorio, mientras que el agua que descende por la tubería entraría en el reservorio sin clorar. Es decir, por la tubería de rebose se estaría escapando agua ya de por si clorada.

Para solucionar este problema y no perder el agua ya clorada por la tubería de rebose, lo que se hace es colocar las tuberías de la forma en la que podemos ver las figuras 31, 32 y 33 donde la tubería de entrada tenga una conexión directa con el depósito, pero también una posible salida que va directa a la tubería de rebose. De tal forma que cuando el depósito alcance el nivel de rebose, el agua en vez de salir directamente al depósito saldría por la tubería de rebose. De esta forma el agua seguiría clorándose al régimen habitual y no perderíamos el agua ya de por si clorada, además que el agua que saldría por la tubería de rebose sería agua no clorada.

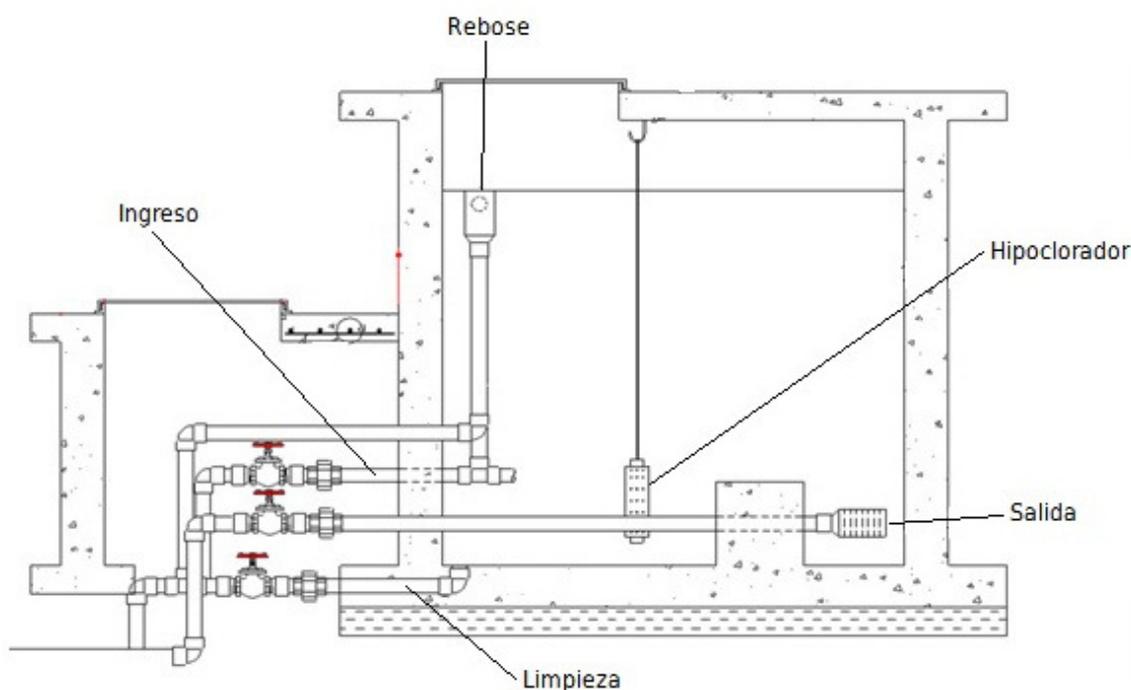


Figura 31: Esquema depósito con tubería de entrada conectada a la de rebose [77].



Figura 32: Tubería de entrada sale por la de rebose [77].



Figura 33: Tubería de entrada sale por la de rebose [77].

Operación y mantenimiento

Para el buen funcionamiento del depósito, resulta importante proteger el sistema para evitar la contaminación del agua, ya que en algunos casos el tratamiento habrá sido previo a la entrada del agua en el depósito, y es muy importante también hacer un buen mantenimiento periódico del mismo.

Aparte de esto debemos seguir los consejos previamente citados, tanto los conceptos generales explicados al inicio de este apartado como los expuestos acerca de cómo realizar el mantenimiento de un depósito.

Como tarea adicional, está la de revisar periódicamente la tubería de ventilación y que la malla que cubre esta se encuentre en perfecto estado.

Costes

En los cuadros 10 y 11 podemos observar unos costos aproximados de distintos materiales que emplearemos en nuestra instalación.

Depósito de almacenamiento

Iñaki Leache Setuain

RESERVORIO CIRCULAR - 07 m3		
HORMIGON 100 Kg/cm ²	101,70	\$/m3
HORMIGON LOSA DE FONDO, MUROS Y TECHO 175 Kg/cm ²	135,56	\$/m3
ACERO fy = 4200 Kg/cm ²	1,94	\$/Kg
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	6,18	\$/m2
MORTERO, PENDIENTE DE FONDO	2,05	\$/m2
TAPA METALICA SANITARIA 0.60 x 0.60	61,54	\$/UD
PINTURA EN MUROS EXTERIORES AL LATEX	0,54	\$/m2

Tabla 10: Costos unitarios reservorio [77].

CASETA DE VALVULA TIPO		
LECHO DE PIEDRA CHANCADA	54,78	\$/m2
HORMIGON 140 kg/cm ²	125,98	\$/m3
HORMIGON 175 Kg/cm ²	135,56	\$/m3
ACERO fy = 4200 Kg/cm ²	1,86	\$/Kg
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	6,17	\$/m2
ACCESORIOS DE INGRESO	52,21	\$/UD
ACCESORIOS DE SALIDA	34,46	\$/UD
ACCESORIOS DE REBOSE Y LIMPIEZA	67,53	\$/UD
ACCESORIOS DE CLORACION	11,80	\$/UD
TAPA METALICA SANITARIA 0.70 x 0.80	63,46	\$/UD
PINTURA EN MUROS EXTERIORES AL LATEX	0,54	\$/m2

Tabla 11: Costos unitarios caseta de válvulas [77].

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

2.1.1.2.5.- Distribución final

La distribución final es la red de tuberías que se encarga de hacer llegar el agua hasta el punto de consumo, ya sea este público o domiciliario. En este apartado, como en los anteriores, veremos, sus partes así como los costos, opciones técnicas y el mantenimiento que se debe realizar para su buen funcionamiento.

Principio general de funcionamiento

Es importante que el sistema mantenga una presión adecuada en todas sus zonas para que el agua llegue con fuerza a todos los puntos del sistema, es decir, el sistema necesita llegar con suficiente presión a las zonas más altas de consumo y no con exceso de presión a las zonas más bajas, con el objetivo de garantizar un consumo adecuado. El sistema también se ayuda de válvulas de purga y aire según estas sean necesarias así como de muchas válvulas de paso que ayudan a regular la presión y cortar el suministro cuando esto sea necesario por obras, averías o mantenimiento.

Instalación típica

Es la última parte del sistema de abastecimiento de agua, va desde la tubería de salida del depósito hasta los distintos puntos de salida del agua ya sea como una unidad pública o en las propias casas de los usuarios siendo un sistema privado. Esta última parte de la estructura, suele realizarse mediante conexiones de tuberías, normalmente de PVC y las correspondientes válvulas que ayudaran en su buen funcionamiento. Suelen ir bajo tierra y es recomendable hacer un mapa de replanteo, para saber dónde se encuentra cada cosa en caso de necesitar hacer reparaciones o cualquier otra tarea en la que debamos acceder a la red de tuberías.

Como veremos en el apartado siguiente la red de tuberías se puede realizar de dos formas distintas y las conexiones domiciliarias o públicas pueden ser muy variadas, desde un grifo, una pileta pública, una ducha... todo depende del uso que le quiera dar el usuario final ya sea este un ente público o un particular.

Los elementos que forman la red de distribución final son los siguientes:

- **Red de tuberías:** Se encargan de transportar el agua de un punto a otro. Puede ser de dos formas diferentes.
- **Válvulas de paso:** Tienen el objetivo de facilitar el paso del agua o el cierre del mismo cada cierta distancia, similar a la línea de conducción.
- **Válvulas de purga:** Tienen el objetivo de purgar la red de tuberías, normalmente se colocan en los puntos ciegos y en las zonas bajas de la red.
- **Válvulas de aire:** Tienen el objetivo de hacer que las bolsas de aire que se forman en los puntos altos de la red desaparezcan
- **Punto final:** Puede ser público o privado y es el punto final de la red, es decir, de donde los usuarios van a poder acceder al agua.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

El diámetro de las tuberías no debe de ser menor a 0.75 pulgadas y la velocidad de funcionamiento adecuadas son las mismas que en la red de tuberías anteriormente explicadas.

Opciones técnicas

En general y sobre todo en las zonas rurales suele ser un sistema de tuberías lineales debido a que es más barata y necesita menos mantenimiento. El inconveniente de este sistema de red lineal es que la alternativa, una red mallada, resulta más eficiente y genera menos problemas en los cortes de suministro, debido a que el suministro no se vería interrumpido por averías en la red. También es más sencillo y rápido averiguar en el sistema lineal de donde proviene la avería, ya que mirando las casas que se han quedado sin suministro podremos ver dónde está la avería y localizarla.

- Redes abiertas: Son distribuciones que cuentan con un ramal principal del que cuelgan otros ramales. Tiene ventajas como que el caudal circula únicamente en una dirección, pero tiene el inconveniente de que en caso de avería, dependiendo de dónde esta se produzca, puede dejar sin suministro al resto de usuarios. Otro de los inconvenientes, es la creación de puntos muertos donde el agua se estanca dentro de la tubería. Esto suele ocurrir en los ramales más alejados y es importante instalar válvulas de purga en estos sitios, debido a que si no el agua toma olores y sabores no deseados. Este tipo de instalaciones, son habituales en terrenos desfavorables y en ocasiones donde los puntos de consumo se encuentran de forma lineal. En general, la red suele ser más barata que una red cerrada, por eso en muchas ocasiones son habituales en zonas rurales [38]. En la figura 34 podemos observar un ejemplo de red abierta.

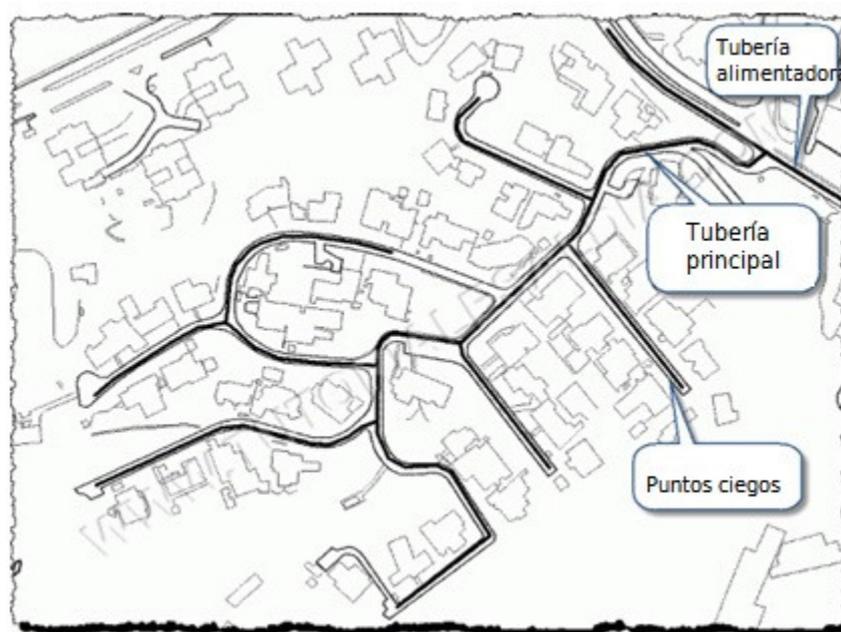


Figura 34: Esquema de una red abierta.

- Redes cerradas: Se trata de una red de tuberías interconectadas entre sí, también considerada como una red mallada. Este tipo de red, es más recomendable ya que

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

garantiza un buen servicio pese a posibles averías, no existen los puntos muertos y puede ser útil en caso de suceder imprevistos como incendios. En el caso de tener un incendio, se cierran las válvulas, de forma que se dirija el agua hasta el punto del imprevisto. En cambio, resulta una instalación más costosa por el mayor uso de tuberías, a pesar de que la presión del sistema pueda ser menor que en el sistema abierto y esto pueda abaratar los costos del tipo de tubería, ya que no sería necesario usar una tubería con una mayor resistencia [38]. En la figura 35 se puede observar un ejemplo de una red mallada.

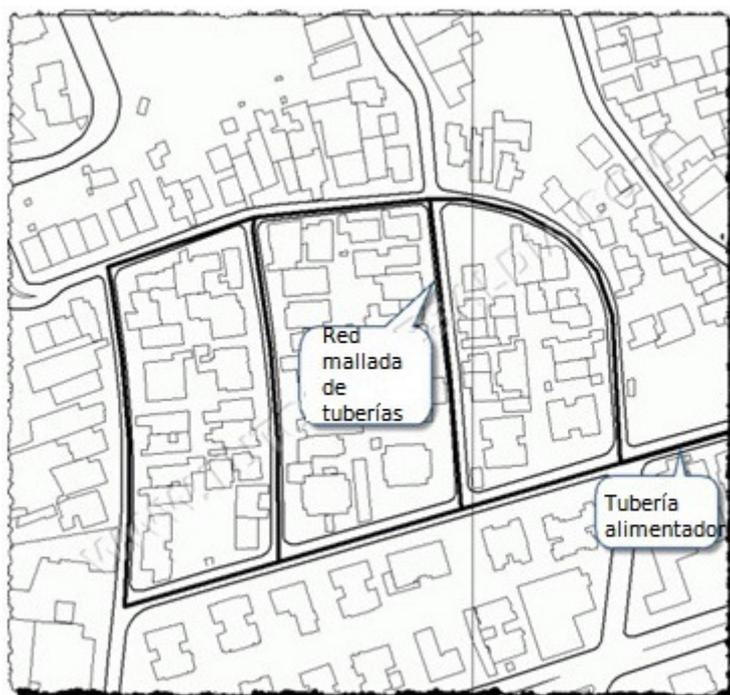


Figura 35: Esquema de una red cerrada.

A continuación, en la tabla 2, podemos observar un cuadro comparativo de ambas opciones a modo de resumen.

Cuadro comparativo red abierta y cerrada.

	Características	Ventajas	Desventajas
Red abierta	<ul style="list-style-type: none"> - Ramal principal del que cuelgan otros ramales. - Válvulas de purga en puntos muertos. - Para terrenos 	<ul style="list-style-type: none"> - Caudal en una dirección. - Más barata. - Poco mantenimiento. - Fácil ver dónde está la 	<ul style="list-style-type: none"> - Averías, afectan a toda la red. - Puntos muertos. - Presión de las tuberías elevada.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

	desfavorables y rurales.	avería.	
Red cerrada			- Eficiente.
	- Redes interconectadas unas con otras.	- Avería, el suministro no se ve interrumpido.	- Es cara.
	- Válvulas de paso en cada ramal.	- Sin puntos muertos.	- Mucho mantenimiento.
	- En lugares con gran cantidad de usuarios.	- Solución para posibles incendios	- Caudal en todas direcciones.
		- Menos presión del sistema.	- Más difícil ver dónde está la avería

Tabla 12: Cuadro comparativo red abierta y cerrada.

Para ambos casos, las válvulas de paso se suelen colocar cada cierta distancia en la red de tuberías, ya que esto nos ayudara en el funcionamiento en el caso de añadir ramales de tubería, será más fácil cortar el suministro en el sitio adecuado, perjudicando lo menos posible a los usuarios y sería conveniente que cada ramal tenga una válvula de paso.

Aparte de la red de tuberías, también llega a variar el punto de distribución final. Este suele ser privado o público. El primero suele estar colocado en las propias viviendas de los usuarios y suele consistir en un grifo, pileta, ducha o incluso un lugar para que los animales puedan tomar agua. En el segundo caso, son las entidades públicas, ayuntamientos o comunidades las que tienen el control de estos puntos, suelen colocarse en lugares de fácil acceso para todos los usuarios y suelen consistir en fuentes o piletas públicas. En este último caso, debemos de poner especial atención a realizar un buen mantenimiento y una muy buena higiene.

Operación y mantenimiento

La distribución final al ser parecida a la red de transporte del agua debe de tener el mismo mantenimiento, es decir, verificar que no existan zonas húmedas en las tuberías así como corrimientos de tierra, además de verificar periódicamente las válvulas y los problemas por la corrosión.

- Las conexiones finales ya sean tanto públicas o privadas, debemos de tener en cuenta que no existan letrinas muy cerca de las instalaciones, ya que estas pueden terminar contaminando las fuentes, sobre todo si es pública. En este último caso es importante tener muy en cuenta la ubicación de la misma para que esta se encuentre en un lugar estratégico y que los usuarios no deban desplazarse grandes distancias para poder optar al recurso hídrico, también debemos de proteger la fuente de los animales o insectos que puedan acceder a ella para que no contaminen la instalación.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.



Figura 36: Pileta pública o privada.

- Es importante capacitar a todos los usuarios en higiene para que la instalación tenga un buen uso y sea duradera y sostenible a lo largo del tiempo.
- Debemos avisar con antelación si va a realizarse un corte de suministro, ya sea por obras, mantenimiento etc. a todos los usuarios para que estos puedan organizarse y guardar agua para los días que el uso se encuentre restringido.
- Comprobar periódicamente que el sistema de distribución final se encuentre en buenas condiciones ya que dependiendo de esto el suministro del recurso hídrico será mejor.
- Resulta muy importante tener en cuenta en toda la estructura de instalación, ya sea en las tuberías o en todas las estructuras construidas, que no se realicen en terrenos donde pueda haber deslizamientos o corrimientos de tierras para evitar grietas o deterioro rápido de la instalación.

Costes

En la tabla 13 y 14, podemos observar los costos aproximados de una red de distribución.

Distribución final
Iñaki Leache Setuain

RED DE DISTRIBUCIÓN		
TUBERÍA PVC SAP Ø 1"	1,26	\$/m
TUBERÍA PVC SAP Ø 3/4"	1,22	\$/m
ACCESORIOS	43,21	\$/UD
REPOSICIÓN DE GRIFOS INCLUYEN ACCESORIO	10,27	\$/UD
ACOMETIDA Y VÁLVULA DE PASO	13,84	\$/UD
CAJA PARA VÁLVULA DE PASO - CON TAPA	17,31	\$/UD
ACCESORIOS PARA RED NUEVA	3,30	\$/UD

Tabla 13: Costos unitarios de la red de distribución [77].

PILETA CON UN LAVADERO Y UN ESCURRIDERO		
LECHO DE GRAVA (CAJA DE PASO)	29,19	\$/m2
HORMIGON CICLOPEO	102,88	\$/m3
HORMIGON 140 kg/cm2	59,44	\$/m3
ACERO fy = 4200 Kg/cm ²	1,94	\$/Kg
ENCOFRADO Y DEENCOFRADO	6,12	\$/m2
MURO DE LADRILLO KK DE SOGA	6,20	\$/m2
MURO DE LADRILLO KK DE CANTO	4,29	\$/m2
ACCESORIOS DE SALIDA (INSTALACIÓN INTERIOR)	14,32	\$/UD
ACCESORIOS DE CONTROL	8,15	\$/UD
ACCESORIOS DE DESAGUE	8,04	\$/UD
COLOCACION DE FILTRO DE PIEDRA CHICA	49,52	\$/m3
COLOCACION DE FILTRO DE PIEDRA MEDIANA	59,42	\$/m3
COLOCACION DE FILTRO DE PIEDRA GRANDE	59,42	\$/m3
COLOCACION DE PLASTICO	0,39	\$/m2
COLOCACION DE PIEDRA ACOMODADA	7,85	\$/m3

Tabla 14: Costos unitarios de un lavadero y un escurridero [77].

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

2.1.2.- Tecnologías para el saneamiento

El saneamiento se refiere a la gestión de las excretas y aguas residuales. En este capítulo se identifican varias tecnologías apropiadas para gestionar estos residuos in-situ, es decir, en el mismo sitio donde se producen. Entre ellas, analizaremos distintos tipos de letrinas y las jardineras biológicas.

2.1.2.1.- Jardineras biológicas

Los filtros biológicos, jardineras biológicas o biofiltros han demostrado ser una tecnología apropiada para el tratamiento de aguas grises (aguas provenientes del lavado o para higiene del cuerpo), domésticas y garantizan una eficiencia en la remoción de materia orgánica del orden del 95%. La calidad del agua saliente de estos biofiltros es óptima para ser reutilizada como riego, dejar que el agua termine en una corriente de agua superficial, infiltrada para la recarga de acuíferos subterráneos o uso común, teniendo en cuenta que no son aptas para consumo humano. Si las aguas salientes las reutilizamos en labores domésticas, estas pueden llegar a suponer un ahorro en el consumo doméstico de agua de un 20%. Aparte de estos beneficios, con la utilización de los biofiltros, se disminuyen los impactos negativos que la disposición de aguas grises causa al medio ambiente, debido al saneamiento del agua y mejora la apariencia de los lugares donde se instala debido a la utilización de plantas que dan otra apariencia a la zona [17].

Lo único que deberemos de tener en cuenta es que si utilizamos esta agua para riego, no debemos de hacerlo en productos que su consumo final es crudo, como las hortalizas, ya que esto puede que nos cause problemas de salud [16].

A continuación analizaremos más detalladamente las jardineras biológicas.

Principio general de funcionamiento

El biofiltro es una tecnología que imita a los pantanos (humedales) naturales, en la que se depuran las aguas grises por procesos biológicos, concretamente, no es más que un filtro de grava y piedra sobre el que se siembran plantas. Las aguas residuales circulan por el sistema y, por la acción de microorganismos, por la propia filtración y la sedimentación, el agua residual se depura y podría reutilizarse hasta un 70% del agua que ingresa en el filtro mientras que el 30% restante, una parte es utilizada por las plantas para su crecimiento y el otro se pierde por medio de la evaporación.

El uso de biofiltros, requiere procesos previos de tratamiento, como la trampa de grasas, que garanticen una efectiva remoción de los sólidos suspendidos para evitar la obstrucción del lecho filtrante. En esta etapa, se separa la mayor cantidad de sólidos, los cuales pueden ser separados fácilmente ya que se sitúan en la parte inferior del tanque. De igual modo, se separan las grasas y detergentes, que quedarán en la parte superior del depósito por la diferencia de pesos específicos.

Una vez el agua se encuentra en el lecho filtrante. Los sólidos más pequeños se atrapan en el material filtrante y el agua fluye lentamente, lo que aumenta el tiempo de retención del filtro. Este factor es muy importante, ya que cuanto más tiempo pase el agua dentro del filtro, mayor

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

será su tratamiento y este debe de ser suficientemente amplio para permitir que toda el agua se haya tratado [19]. Durante el recorrido que realizan las partículas de agua, está en contacto con zonas aerobias y anaerobias, lo que permite la degradación microbiológica y los procesos fisicoquímicos. Las zonas aerobias, son provistas por las raíces de las plantas al inyectar oxígeno de la atmósfera al subsuelo por procesos naturales, donde fijan, degradan y se alimentan de nutrientes (nitrógeno y fósforo) contenidos tanto en el agua como en el mismo suelo mientras que las zonas anaerobias, son las zonas alejadas a las raíces de las plantas y que generan lugares propicios para el desarrollo de la película bacteriana [20].

Instalación típica

La instalación de los biofiltros es sencilla, y no es necesaria la mano de obra cualificada para su construcción pudiendo ser realizada por los propios usuarios.

Requisitos de instalación

- De forma aproximada debe considerarse una superficie de entre 1,5 m³- 2 m³ por persona que va a utilizar el biofiltro, incluido el sistema de pre-tratamiento.
- A parte de los materiales típicos de construcción como la arena, el cemento u otros, para la construcción de biofiltros es importante que haya arcilla o como alternativa disponer de una geo membrana para poder impermeabilizar el fondo y las paredes así como un buen material filtrante.
- Todos los materiales de construcción deben ser de fácil acceso y de bajo costo. De lo contrario, la construcción y el mantenimiento se encarecen y no tendría sentido utilizar esta tecnología.
- Es necesario también formar a los usuarios para conseguir un buen uso y mantenimiento del sistema así como para que la reutilización del agua tratada sea lo más eficaz posible y se realice de forma adecuada.

Partes que componen la instalación

La instalación se divide en cuatro secciones: Recolección, pre-tratamiento, biofiltro y post-tratamiento. La figura 37, muestra el esquema general de una instalación de biofiltro.



Figura 37: Partes de un biofiltro [17].

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

Recolección

Las aguas a tratar deben llegar a la zona de tratamiento o bien por medio de un sistema de tuberías que llevan las aguas a tratar al biofiltro o de forma manual si no se dispone de este.

Pre-tratamiento

Como podemos ver en la figura 38 es importante que el agua que llega al filtro, esté previamente tratada, para ello los sistemas que se usan habitualmente son tanques separadores de grasa y partículas sólidas, con el fin de asegurar una mayor remoción y evitar que partículas mayores lleguen al biofiltro [17].

Para la construcción de la trampa de grasas, debemos seguir los pasos descritos a continuación: en primer lugar debemos asegurarnos que todas las conexiones del ramal de aguas grises se dirijan a la trampa de grasas. Ésta deberá de tener una superficie compacta y nivelada donde resulta muy importante contar con un firme de 5 cm. Una vez colocado el piso, se colocan los tabiques o paredes, los cuales, llegan hasta una altura de 60 cm y disponen de orificios de entrada y salida. Para una familia de 4 o 5 personas, la instalación de la trampa de grasas puede tener un tamaño de 60cm x 60cm x 60cm o ser un balde de plástico de unos 20 litros [19] [21]. La primera, deberá ir colocada en la parte superior, mientras que el orificio de salida deberá ir unos 15 cm por debajo del de entrada, como se ve en la figura 38. Por último y cuando ya tenemos la trampa construida, la reforzaremos por el interior con cemento pulido y opcionalmente con impermeabilizante, dejando un tiempo suficiente para que el material añadido pueda secarse. Por último, queda realizar las conexiones de las tuberías de PVC, colocar los codos y la tapa selladora del depósito.

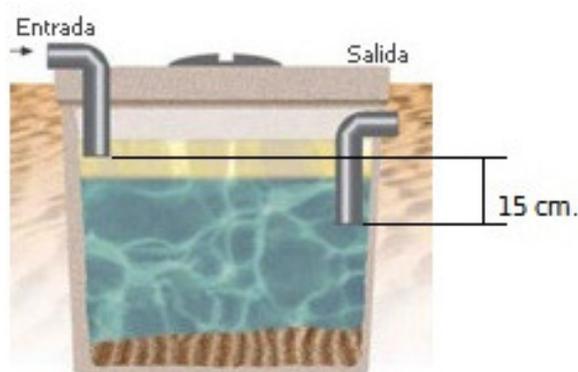


Figura 38: Esquema de la trampa de grasas [58].

Para la mejora de la instalación, en el orificio de salida, debe de instalarse un codo con un tubo que llega a colocarse unos centímetros por encima del firme de la trampa como podemos ver en la figura 38. Esta disposición permite que el agua suba lentamente por el tubo de salida y dé tiempo a que se sedimenten los sólidos.

Por último, debemos reparar especial atención a los niveles y las pendientes de las tuberías. Para ello, tenemos que saber exactamente la ubicación del filtro y calcular la altura de entrada y salida del agua de tal forma que la pendiente no sea menor que el 4%. Es decir, una vez sepamos la localización exacta de la jardinera y veamos donde va a ser colocada la tubería de

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

entrada a la misma ya podremos diseñar el resto de la instalación. Para ello, debemos de tener en cuenta la pendiente de la tubería y decidir donde colocamos la trampa de grasas respetando que exista esa pendiente a lo largo de la conexión de ambas instalaciones

Biofiltro

Esta es la parte principal del sistema y no es más que una zanja o jardinera impermeabilizada compuesta por una zona de filtrado y plantas y microorganismos que se ubican entre las zonas de entrada y salida de las aguas. En la figura 39, podemos observar las distintas partes del sistema.

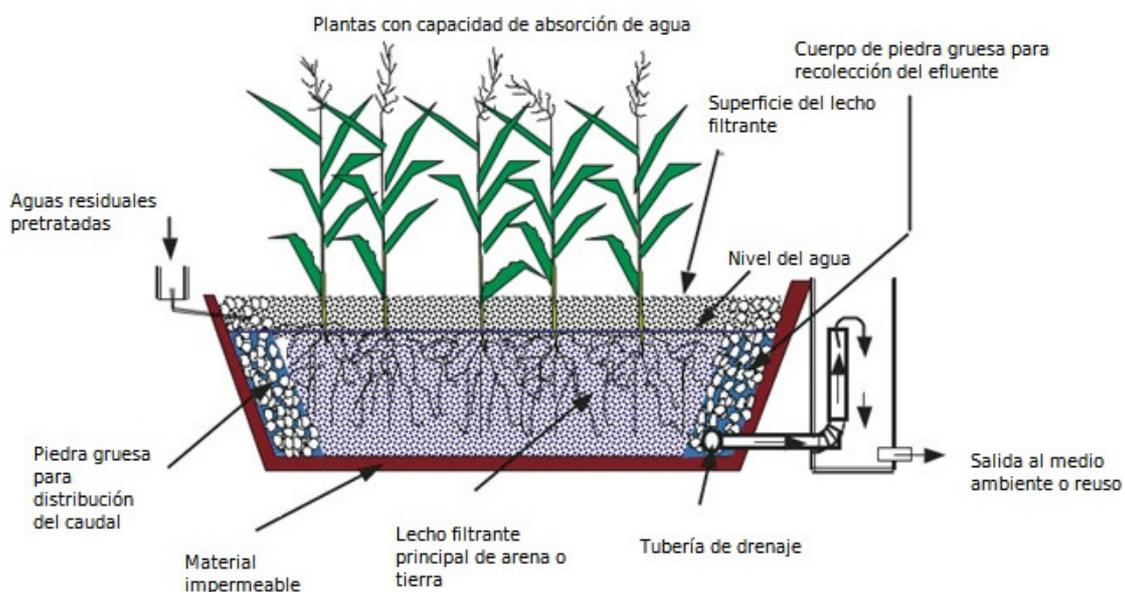


Figura 39: Esquema y partes del biofiltro [16].

A continuación vemos una lista de las distintas partes del sistema que ampliaremos más detalladamente después:

- Zanja, jardinera, o depósito:
- Tubería de entrada
- Tubería de distribución, entrada y salida
- Tubería de salida
- Tubería flexible de drenaje
- Material filtrante
- Plantas con capacidad de absorción de agua
- Depósito en la salida del agua para controlar el nivel de agua

Para la construcción de la zanja, primeramente, debemos nivelar y compactar una superficie con las dimensiones acordadas en el diseño en la cual el firme deberá de tener aproximadamente 5 cm. El firme, es importante dotarlo con una leve pendiente que garantice el escurrimiento adecuado del agua. Una vez tengamos el piso, podemos levantar las paredes que serán de una altura aproximada de unos 50 - 60 cm. Las dimensiones de un biofiltro para una familia de 4-5 personas se calcula teniendo en cuenta que aproximadamente el espacio de la zanja o jardinera debe de ser de un metro cúbico [19]. Otra forma de hacer la zanja para una

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

familia tipo, es dimensionándolo de la siguiente forma: en la parte superior una dimensión de 3 x 2.5 metros mientras que en la inferior, 1.8 x 1.3 metros con una altura de 0.6 metros y unos chaflanes de 45º [21]. Como en la trampa de grasas, en este, también debemos de prever la entrada y la salida del filtro, la primera se coloca en la parte superior de la zanja o jardinera mientras que la de salida se debe de colocar a la altura del firme.

La parte interior de las paredes del biofiltro, puede estar recubierta con cemento pulido siendo opcional añadir el impermeabilizante o podemos utilizar plásticos y sacos donde se colocará el material filtrante, evitándonos de esta forma los costos de realizar esta estructura en hormigón y haciendo más sencilla su construcción. Resulta importante si utilizamos el plástico, realizar una buena obra para asegurarnos de que el agua de lluvia no ingrese por los laterales del biofiltro, entre el plástico y el suelo donde apoya la jardinera [21].

Una vez concluida esta fase, debemos determinar las distintas zonas de filtración, para ello mediremos la longitud total del interior del filtro y la dividiremos en 6 partes. Una sexta parte será el material filtrante inicial, otra sexta parte, el del final y en medio, quedan dos tercios que se recubrirán con arena y tierra. El material del principio como del final del filtro suele ser de un tamaño mayor que la arena o tierra de la parte central, para favorecer la distribución del agua y retener las partículas más grandes. El material del comienzo y final del filtro puede ser piedras de un tamaño aproximado entre 5.08cm y 7.62cm mientras que el central, serán granos de arena y tierra [21]. En la zona intermedia deberemos mezclar la arena con la tierra en una proporción de 4 a 1 [19].

Una vez realizado este paso, es hora de sembrar las plantas. Éstas se pueden sembrar en toda la zanja o jardinera, pero es más sencillo y recomendable colocarlas en el espacio donde tenemos la arena y la tierra. Durante la plantación, debemos tener en cuenta que el tallo de las plantas no es recomendable que quede demasiado profundo. Para los biofiltros domiciliarios, por tratarse de sistemas cercanos a los hogares, se propone que las plantas que se siembren sean plantas ornamentales. Esta opción que nos dan los biofiltros, hace que funcionen como un espacio para la siembra de plantas y se convierten en un jardín que da belleza escénica en los hogares donde sean implementados. Son muchas las plantas que es posible utilizar, pero preferentemente se utilizarán las plantas nativas de la región, que no aumenten los costes de la instalación y que tengan mucha absorción de agua como pueden ser el carrizo, la totora u otra planta con características similares [21]. Resulta importante al principio no sembrar muchas plantas juntas ya que con los primeros días de funcionamiento estas se multiplicaran en la jardinera [16].

Después de plantarlas, terminamos de rellenar los espacios hasta el borde de la zanja con los materiales correspondientes, sacamos los tabloncillos utilizados y por último solo nos quedaría colocar la tubería de PVC, que una la trampa de grasas con el biofiltro, teniendo en cuenta que debemos evitar codos, cambios abruptos de nivel y desviaciones.

La entrada puede hacerse de dos formas, la primera colocando la entrada directamente dentro del material filtrante o, como segunda opción, conectando un tubo de distribución con perforaciones espaciadas cada 4 o 5 cm a todo lo largo de la jardinera o zanja. El tubo de distribución, se instala sobre el material filtrante, con una leve pendiente y se colocan las perforaciones hacia abajo para que el agua fluya por cada una de ellas. La ventaja de la utilización de este sistema, es que el agua se distribuye de manera uniforme a lo ancho del

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

filtro, pero nos encontramos con el inconveniente de que el flujo de agua debe ser constante para que el sistema funcione adecuadamente. Este detalle queda ilustrado en la figura 40.

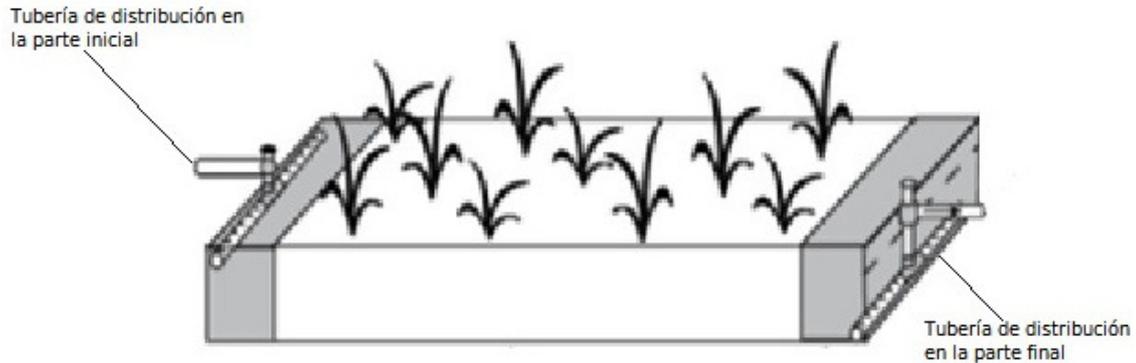


Figura 40: Tuberías de distribución en entrada y salida del biofiltro [17].

La salida del filtro, en cambio, se coloca sobre el firme utilizando un tubo de PVC, el cual puede ser también un tubo de distribución. El tubo de salida puede ser flexible, esto nos ayudara a controlar el nivel de agua dentro del biofiltro, el funcionamiento del mismo es sencillo, solamente deberemos de mover el tubo flexible arriba o abajo para que el nivel de agua en la zanja permanezca a la altura deseada. Opcionalmente, se puede construir un pequeño depósito para almacenar el agua que sale de la tubería. Todo esto queda ilustrado en la figura 41.

El llenado de la zanja o jardinera lo realizamos cuando la instalación este completa y debemos de tener en cuenta que el nivel de agua nunca debe de llegar hasta el tope del biofiltro.

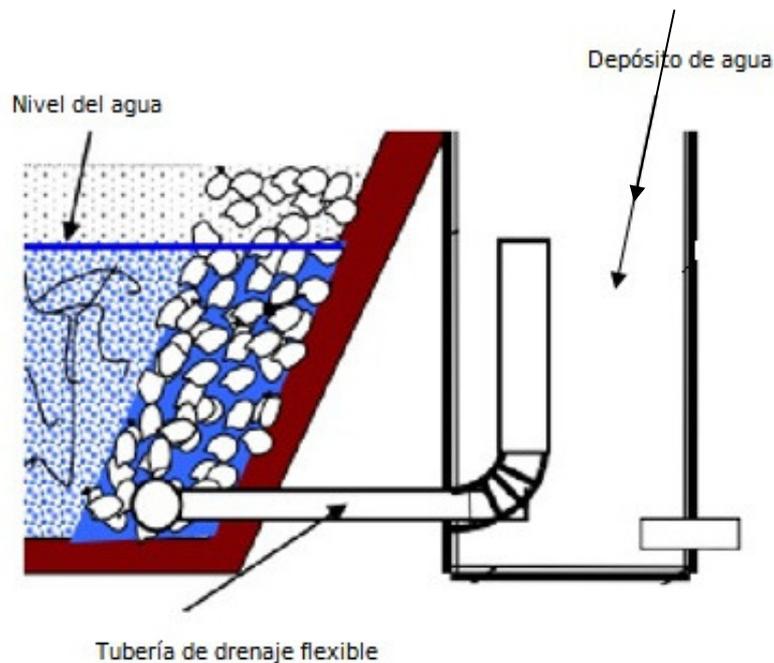


Figura 41: Salida del biofiltro con tubo flexible [59].

Post-tratamiento

Como hemos comentado anteriormente el agua que sale del biofiltro puede reutilizarse de distintas formas. La primera, es incorporando esta agua a los acuíferos (tanto superficiales como subterráneos) naturales. La otra, es volver a reutilizar el agua para uso propio. En este punto se podría utilizar para lavado personal o material así como agua de regadío. Si el agua la utilizamos para regadío debemos de tener en cuenta que no la podremos utilizar en productos que se coman crudos, pero en cualquier otro caso sí.

Opciones técnicas

En muchos casos, para biofiltros familiares, existe la opción de realizar uno solo para varias familias. El diseño del mismo debe de ser proporcional con los criterios definidos anteriormente, siendo más extensos cuantas más personas lo usen. Esto lo que supondrá es un ahorro en los costos y si las familias son capaces de organizarse para su buen uso y mantenimiento este sistema tiene muchas ventajas, pero se corre el riesgo de que si la gestión del mismo no es buena, la instalación pueda dejarse abandonada o surjan problemas entre los usuarios. En estos casos resulta muy importante realizar una buena gestión del sistema y esto pueda que exija realizar formaciones adicionales con los propios usuarios.

Los sistemas para el pre-tratamiento pueden ser de distintos tipos, no solamente los “separadores de grasa” comentados anteriormente. Estos procesos preliminares pueden consistir en una rejilla, seguida de un desarenador y unidades de sedimentación, como un tanque Imhoff o un tanque séptico. El objetivo de estos procesos es el mismo que el de los separadores de grasas, solamente difieren en el tipo de instalación.

La rejilla tiene la función de retener los sólidos más grandes mientras que el agua sigue su curso hacia el desarenador. En esta parte las sustancias más pesadas que el agua caen al fondo de la instalación y evitamos de esta forma que sigan el curso del agua. Por último, queda decantar las partículas que se encuentran en la superficie del agua (grasas, aceites y elementos flotantes) y una vez realizado estos pasos el agua pasaría al filtro.

El tanque Imhoff, es otro proceso de tratamiento primario para las aguas grises. Éste tiene tres partes diferenciadas, la cámara de sedimentación, la cámara de digestión de lodos y un área de ventilación y acumulación de natas o grasas. El tanque está diseñado para que estos procesos ocurran dentro del mismo tanque en varias etapas distintas pero es necesario que antes de llegar el agua al tanque, esta haya pasado los procesos de cribado (separación de sólidos grandes) y remoción de arenas.

En la figura 42, podemos ver un esquema de este tipo de tanques.

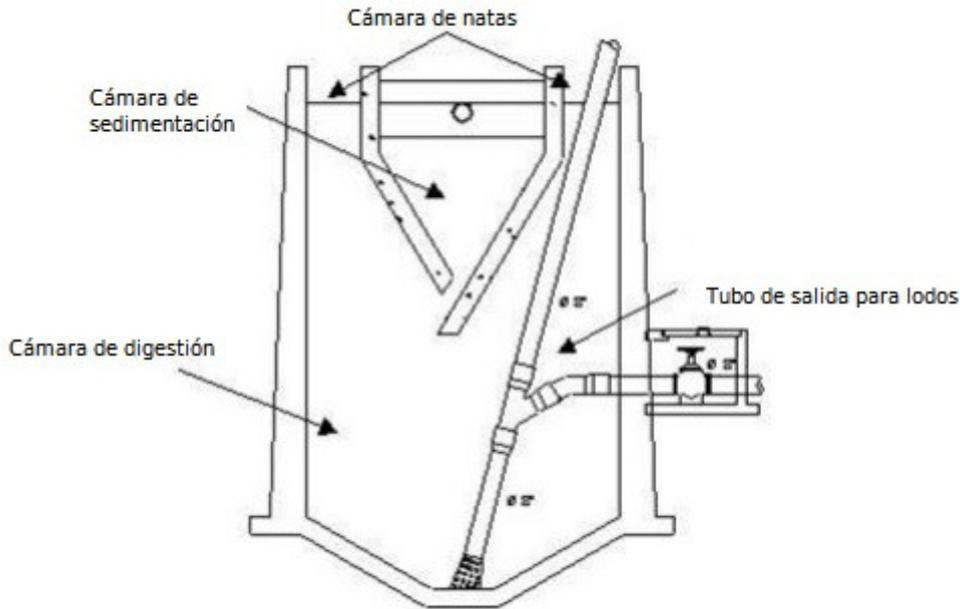


Figura 42: Esquema de un tanque Imhoff [9].

En cambio, en un tanque séptico, la parte sólida de las aguas servidas es separada por un proceso de sedimentación, y a través del denominado “proceso séptico” se estabiliza la materia orgánica de esta agua para lograr transformarla en un lodo inofensivo.

En la figura 43, queda ilustrado el esquema de los tanques sépticos.

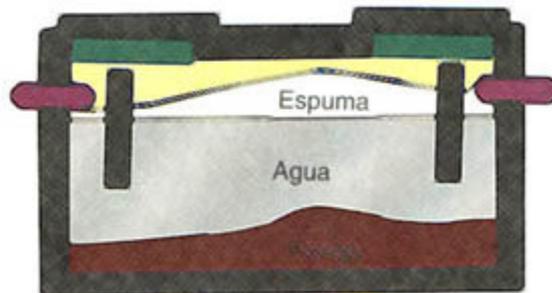


Figura 43: Esquema de un tanque séptico [60].

Todas estas opciones, necesitan su propio mantenimiento y es necesario que los usuarios conozcan bien las instalaciones para poder realizar un buen uso de las mismas. Estas opciones nos las deberíamos de plantear al realizar el diseño y elegir la más adecuada a nuestra instalación, por ellos es muy importante informar bien a los usuarios acerca de las características de estos sistemas y de las labores y costos que puede suponer cada una de ellas para luego, cuando entren en funcionamiento, estas no sean ningún impedimento para la realización de un buen uso del biofiltro.

Operación y mantenimiento

Las actividades de operación y mantenimiento suelen ser sencillas y de bajo costo para cada una de las etapas de tratamiento. Las tareas de mantenimiento pueden ser realizadas por las

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

mismas familias de usuarios del sistema, para las cuales utilizarán materiales que pueden encontrarse fácilmente en las propias viviendas y sus cercanías.

Para el tratamiento primario las tareas a realizar son las siguientes:

- limpieza de los sólidos gruesos y material sedimentado: suele hacer falta una pala y una carretilla para remover los sólidos y el material acumulado. Su mantenimiento siempre será dependiente de los volúmenes de agua y sólidos presentes en el tratamiento primario, aunque es recomendable realizar el mantenimiento cada semana. Este mantenimiento consiste en retirar las grasas acumuladas en la parte superior y paredes del tanque que se pueden desechar como material sólido.
- Tapa para la aeración de la trampa de grasas: uno de los problemas que pueden surgir en este tratamiento primario suele ser la aparición de olores, para evitar esto, es posible la implantación de esta tapa que permita la aeración de la trampa de grasas.
- Por otra parte, cada dos o tres meses puede ser importante retirar los sólidos acumulados en la parte inferior de la trampa de grasas. Para ello, resulta imprescindible sacar las grasas de la parte superior, vaciar el agua de la trampa con una cubeta y posteriormente, se retiran los sólidos, los cuales podemos enterrarlos o integrar en la composta.

El material que extraemos de la trampa de grasas se puede tratar como sólidos, enterrándolos en pozas, realizando compostaje o desechándolo como otro sólido cualquiera [21] [34].

El biofiltro, también requiere cierto mantenimiento que dependerá de la frecuencia del mantenimiento del tratamiento primario y lo analizamos a continuación:

- Una de las tareas de mantenimiento más importantes, consiste en lavar el material filtrante que se encuentra en el primer tramo del biofiltro.
- Eventualmente, en un período de 5 a 10 años, podemos encontrarnos con el problema de que el filtro puede obstruirse debido a la acumulación de sólidos en el lecho filtrante. Cuando esto sucede, veremos como el agua se desborda por la parte superior del filtro en vez de fluir por el tubo de salida. Esto nos indica que el material filtrante se encuentra saturado. El material filtrante inicial y la mezcla de arena con tierra deberían cambiarse por nuevo material, pero puede que no sea necesario cambiar ambas. Primero podemos intentar reemplazar la sección filtrante de la entrada y observar si el flujo mejora. De no ser así, habrá que reemplazar todas las secciones siguientes.
- El mantenimiento del filtro también incluye labores de jardinería. Éstas son igual de importantes que las del resto de la instalación, ya que un buen cuidado de las plantas garantiza un mejor funcionamiento del sistema. Es necesario, podar estas plantas regularmente puesto que al realizar esta tarea conseguimos que las plantas absorban más nutrientes para desarrollar nuevas ramas y hojas mejorando el proceso de limpieza de las aguas grises.

Resulta muy importante para el buen uso del sistema tener cuidado con los productos de limpieza que se utilizan en el hogar, ya que éstos pueden ser nocivos para las plantas. Preferentemente deben utilizarse jabones biodegradables y no abusar de químicos (por ejemplo, el cloro) [19].

Aparte de estas labores de mantenimiento y como hemos visto en la primera parte de abastecimiento de agua, toda estructura construida necesita de labores de mantenimiento. En el caso de los biofiltros se parecen mucho a las anteriormente descritas puesto que consistirían

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

en revisar regularmente las instalaciones de tratamiento primario y biofiltro, así como los objetos adicionales como tuberías y ver si las llaves de paso no están duras (en tal caso engrasar), si debemos de pintar con pintura anticorrosiva, si nos encontramos con las estructuras dañadas que deberemos de arreglar lo antes posible etc.

2.1.2.2.- Letrinas

Las letrinas, también llamados retretes, son los espacios destinados a desechar las aguas negras (materia orgánica fecal y orina). De forma general, existen letrinas de tipo seco y de tipo húmedas en función de si utilizan agua o no.



Figura 44: Letrina de hoyo seco con tubería de ventilación.

Letrinas secas:

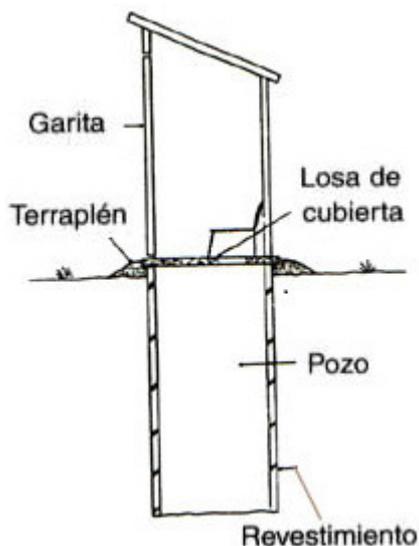


Figura 45: Estructura de una letrina seca [61].

En términos generales, las letrinas secas son hoyos cubiertos con una tabla que incorporan un agujero o váter como se puede ver en la figura 45.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

Al hoyo, cae materia orgánica fecal y orina, aunque esta última también se puede separar. La orina presente en el hoyo se infiltra en el terreno y la orina separada previamente se puede reutilizar como abono. La materia orgánica en cambio, se descompone generando gases como el CO₂ y metano, que se liberan a la atmósfera o se dispersan en el terreno, líquidos que se infiltran en el terreno y residuos sólidos en proceso de mineralización y consolidados. Una vez se llena el hoyo, se tapa, y con el tiempo, mediante un proceso anaeróbico (sin presencia de oxígeno), la materia podrá utilizarse como abono.

Debe recordarse, que este tipo de letrinas debe instalarse lejos de cualquier fuente de agua y alejada de la vivienda. Para calcular el periodo de vida útil de la instalación, se asume que cada persona deposita un promedio de 0.07 m³ por año.

En apartados siguientes, se describen dos tipos de sistemas de letrina seca: la letrina de hoyo seco y la letrina ecológica seca con sus posibles variantes.

Letrinas húmedas:

Es una instalación parecida a la anterior: la diferencia consiste en que este sistema cuenta con un aparato sanitario dotado de un sifón que actúa como cierre hidráulico, el cual impide el paso de insectos y malos olores y la necesidad de la utilización de agua para el arrastre y el tratamiento de los materiales acumulados en el hoyo. En este caso, no resulta necesario que el hoyo se encuentre en el mismo lugar que la letrina, ya que cabe la posibilidad de utilizar una tubería que una ambas partes.

Requisitos previos generales para las letrinas:

Es importante, en los casos donde no conozcamos las características de la tierra, averiguar cuál es la capacidad de absorción del terreno donde colocaremos la instalación. Para ello, podemos realizar una prueba denominada “percolación” antes de comenzar con la construcción de la letrina, para ver si el terreno es adecuado. Esta prueba no siempre es necesaria, por ejemplo para terrenos arenosos es innecesaria ya que la absorción del terreno es conocida.

La prueba consiste en cavar una zanja de 30cm x 30cm y una profundidad de 60 cm. Por espacio de una hora se llenara el hoyo hasta saturarlo. Seguidamente, lo dejamos drenar y lo volvemos a llenar con agua limpia hasta una altura de 15 cm. A continuación y ayudados de una regla graduada deberemos de anotar el tiempo que tarda el agua en bajar 2.5 cm (una pulgada) o tomar el promedio de cuanto tarda en bajar los 15 cm. De aquí extraemos la tasa de percolación que suele estar definida como min/pulgada o min/2.5cm. Con esto vamos a la tabla 3 y podremos observar el tipo de terreno que acabamos de analizar:

Tasa de filtración (tiempo requerido para que el agua baje 2,5 cm en minutos)	Porosidad del terreno Absorción del terreno	Tipo de suelo
1 o menos 2 3	Absorción rápida	Arena gruesa o grava

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

4 5	Absorción media	Arena fina franco-arenosa
10 15 30	Absorción lenta	Franco-arcilloso
45 50 60 o más	Terreno semipermeable Terreno impermeable	Arcilla compacta

Tabla 15: Prueba de filtración y tipo de suelo.

Si sobrepasa los 30 min/2,5 cm, el terreno resulta inapropiado para pozos de absorción. Si la tasa de filtración es mayor de 60 min/2,5 cm, el terreno es inapropiado para tratamientos que utilicen el suelo como medio de absorción.

Resulta de vital importancia, que los programas de letrización estén precedidos por una intensa campaña de educación sanitaria, que comiencen antes de la instalación de la letrina y continúen una vez instalada. Esto facilitara a los usuarios el conocimiento de la instalación así como resulta importante para la buena utilización de la letrina y la realización de un buen mantenimiento [20].

En ocasiones, la instalación de las letrinas en zonas rurales suele generar un choque con la cultura local y si esta parte no se trata de forma adecuada, explicando bien los usos y bondades de las letrinas puede ser que los propios usuarios terminen rechazando las instalaciones o abandonándolas al poco tiempo de instalarlas.

2.1.2.2.1.- Letrina hoyo seco

La letrina de hoyo seco, se utiliza principalmente en los lugares que carecen de abastecimiento de agua y carecen de un dispositivo para la realización de las necesidades básicas. La población beneficiaria, mayormente se encuentra en zonas rurales o áreas marginales. Esta tecnología tiene la finalidad de alojar las aguas negras de forma que no entren en contacto con las aguas fluviales, insectos o ganado, evitando la aparición de enfermedades.

A continuación analizaremos más profundamente sus características.

Principio general de funcionamiento

En la letrina de hoyo seco, las personas realizan sus necesidades fisiológicas, depositan sus excreciones fecales y urinarias así como el material de limpieza utilizado para el aseo personal después de la realización de las necesidades humanas (papel de baño, hojas... pero nunca agua), de manera que éstas no estén expuestas al contacto con insectos, roedores y animales domésticos. Por lo tanto, en el hoyo nos encontraremos con líquidos y materia orgánica. Los primeros, se infiltran en el terreno que lo rodea, mientras que la materia orgánica se descompone generando gases como el CO₂ o el metano (ambos o se liberan a la atmosfera o se dispersan en el suelo circundante), más líquidos que se infiltran en el terreno y residuos sólidos en proceso de mineralización y consolidados. La letrina de hoyo seco, de normal evita muchos problemas de salud y contaminación, pero no está exenta de contaminar los suelos ya que en muchas ocasiones y aunque se intente evitar se termina contaminando los suelos y acuíferos por el paso del agua por el hoyo de las excretas o cerca del mismo principalmente en las épocas de lluvia. Para evitar esto, es recomendable no colocar la instalación cerca de posibles acuíferos.

Este proceso ocurre en todo momento mientras el hoyo esté en funcionamiento. Cuando éste llega a su máxima capacidad, se tapa con tierra de forma que en su interior ocurre una descomposición anaeróbica de los materiales, es decir, un proceso sin presencia de oxígeno. Esto nos dará la posibilidad al cabo de un tiempo aproximado de dos años de utilizar este material como abono para la mejora de suelos agrícolas. Estos procesos, son ciclos biológicos naturales para transformar una materia orgánica (las excretas) en un producto inofensivo y listo para nutrir el suelo [30]. Pero esto requiere una capacitación y concienciación muy grande a los usuarios, ya que la mayoría no sabe que después de los dos años, pueden utilizar las excretas como abono para los usos productivos y no hacen uso de esta ventaja.

Otra de las patas que siempre debe de acompañar a cualquier proceso de saneamiento es la capacitación en higiene. Es una de las patas más importantes ya que si no se capacita a los usuarios en este tema el uso del mismo será peor y la vida útil del sistema se verá reducida.

Instalación típica

La instalación de letrinas de hoyo seco no es compleja. Veamos a continuación los requisitos previos y las partes de las que se compone este tipo de sistemas.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

Requisitos de instalación

- La letrina deberá instalarse, como mínimo, a 30 m de cualquier fuente de agua.
- La letrina deberá orientarse, con la puerta, en sentido contrario, a la dirección predominante del viento.
- La letrina no debe construirse en zonas fácilmente inundables.
- Capacitaciones para explicar el uso de los sistemas y como realizar la reutilización de los materiales así como el traslado de la instalación una vez esta llegue al final de su vida útil.
- Utilizar materiales de la zona, para reducir los costos de la instalación y para que sea más sencillo realizar las correspondientes reparaciones de la instalación.

Partes que componen la instalación

La letrina de hoyo seco es una instalación sencilla compuesta por:

- un hoyo
- un brocal (opcional)
- una losa
- aparato sanitario
- una caseta con terraplén, piso y opcionalmente un tubo de ventilación.

En la figura 46 podemos ver las distintas partes del sistema.

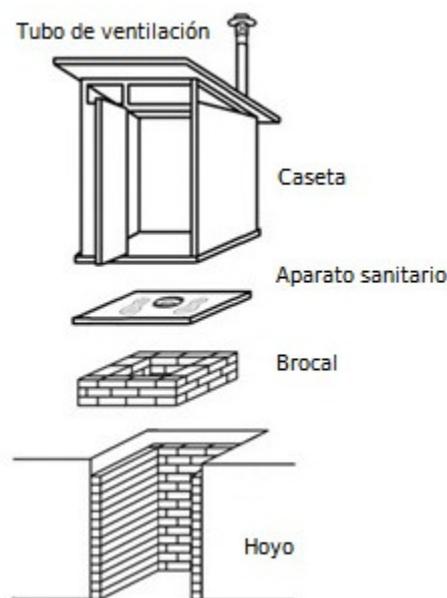


Figura 46: Estructura de letrina de hoyo seco ventilada [62].

Hoyo: Se trata de un hueco que sirve para el almacenamiento de las heces, orines y las toallas higiénicas, entendiéndose por esto, el material utilizado para la limpieza posterior de las

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

personas una vez utilizada la letrina, de manera que los microorganismos nocivos que contienen, no puedan transmitirse a un nuevo huésped. Éste suele ser de sección cuadrada, rectangular o circular de 0.8-1 m de lado o diámetro mientras que la profundidad puede variar según el diseño, las condiciones del suelo o la presencia de aguas subterráneas. Los hoyos cuadrados o circulares suelen ser los más utilizados para un uso familiar mientras que los rectangulares son usados en sitios públicos como pueden ser las escuelas [44].

En ocasiones, el hoyo puede ir revestido por sus laterales, esto dependerá de los suelos en donde se construya la letrina y sirve para evitar el desprendimiento de las paredes del hoyo. El revestimiento puede ser de distintos materiales como piedras, ladrillo, bloques de hormigón, ferro cemento o arcilla.

Brocal: Sirve para soportar el peso del piso o la losa y es importante hacerlo y colocarlo de forma que sea una continuación del hoyo. Como materiales se pueden utilizar vigas de madera, hormigón, ladrillos o bloques de piedra. Resulta importante que su construcción comience antes del nivel del suelo y termine estando elevado sobre el mismo para evitar que entre el agua de lluvia. El espesor del mismo no debe ser inferior a 0.2 metros para permitir el apoyo del piso y es recomendable que tenga la misma forma del hoyo, es decir, cuadrado, rectangular o circular. Algunos ejemplos de ellos los podemos observar en la figura 47.

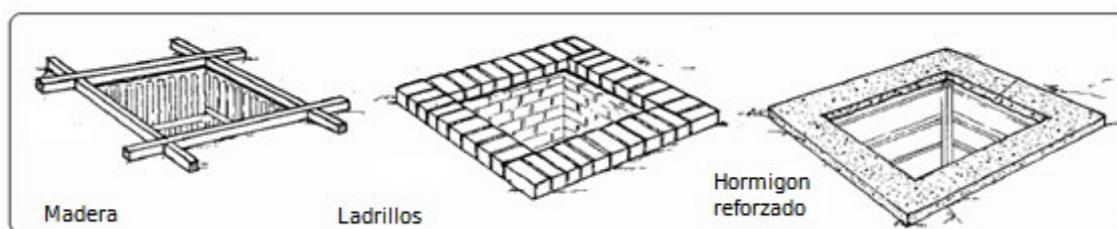


Figura 47: Distintos tipos de brocales [30].

Piso o losa: Suele tener una extensión de 1 a 1.5 m por 1 a 1.5 m con un orificio por donde caen las excretas y otro más pequeño si consta de un tubo de ventilación. Sirve como piso y se coloca apoyando en el brocal. Se puede construir de madera resistente a la humedad, hormigón, fibra de vidrio etc. La losa debe de ser lisa e impermeable para poder facilitar la limpieza y una buena apariencia del mismo. Además, es importante que tenga una ligera inclinación para facilitar la limpieza y que el agua depositada no forme charcos.

El piso debe soportar el peso de la taza y de una persona y en el caso de losa turca es importante que tenga unas huellas marcadas para ubicar los pies en la posición adecuada. Este, puede ser de distintos materiales como hormigón reforzado, vigas de madera con adobe o de madera. Si decidimos poner el piso de madera es importante que esté bien sellado para evitar la entrada y salida de moscas y larvas. En la figura 48 podemos observar un ejemplo de lo comentado previamente.

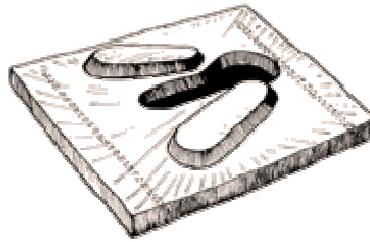


Figura 48: Losa turca con huellas para apoyar los pies.

Terraplén: Se construye alrededor del brocal y sirve para evitar la entrada de agua al baño o al hoyo. Éste puede ser de tierra o se puede reforzar con piedras o mortero.

Aparato sanitario: Puede ser una taza sobre la que se sienta el usuario o una losa turca donde el usuario adopta la posición de cuclillas para realizar sus necesidades. El aparato sanitario consta de orificios que lo conectan con el hoyo y debe de ser construido con paredes lisas de forma que sea más fácil mantener la higiene. Es importante contar con una tapa que selle bien el hoyo para evitar la entrada y salida de moscas o larvas.

Caseta: Es el espacio que permite la privacidad del usuario y debe estar ubicada a una distancia de entre 5 y 50 metros de las viviendas. Puede tener una altura aproximada de unos 2 metros, con una inclinación del techo de un 10% aproximadamente para evacuar el agua de lluvia, el mismo techo, es recomendable que cuente con un pequeño voladizo para la descarga del agua a una distancia prudente con respecto a la caseta [30]. Esta puede ser construida con materiales del lugar, para evitar un mayor coste y es importante tener en cuenta el traslado de la misma junto con todos sus materiales una vez llenado el hoyo por lo que es recomendable colocar materiales que sean fáciles de transportar. Por último, se puede colocar una zona abierta en la parte superior de la caseta que sirva de ventilación e iluminación la cual debería de protegerse con una malla para evitar el ingreso de insectos.

Los materiales de construcción pueden ser múltiples y la forma normalmente suele ser cuadrada o rectangular. Se colocará una puerta la cual es importante que permanezca cerrada para evitar la entrada de animales o insectos y que la orientación de la misma siga las recomendaciones previamente comentadas [63].

En la figura 49, observar una caseta con su zona de ventilación y protegida por la malla.



Figura 49: Letrina con zona de ventilación y malla protectora [30].

El interior de la caseta, debe recibir luz natural siempre que sea posible pero resulta importante que se proyecte una sombra lo suficiente grande sobre el asiento, para evitar el ingreso de insectos al hoyo, es decir, que la luz natural entre en la caseta pero que esta no se proyecte sobre la taza [44]. Aparte, es importante que la luz solar no se proyecte de frente a la puerta si no que esta mayormente se proyecte sobre un costado de la caseta. La misma puerta también es importante que habrá hacia afuera.

Es importante, que antes de la instalación se tengan en cuenta criterios como la orientación, ubicación, drenaje, dimensiones de la instalación y la profundidad del hoyo.

Tubo de ventilación: Se trata de una instalación opcional, que tiene la función de evitar la aparición de los malos olores mediante un tubo colocado sobre el hoyo. Éste, debería sobresalir por encima de la caseta unos 50 cm y puede ir colocado tanto por el interior de la misma como por el exterior. Debe estar bien sellado y en la parte superior debe colocarse una malla protectora para atrapar los insectos que quieran entrar en el hoyo y evitar la entrada de agua de lluvia mediante un pequeño techo. El tubo suele ser de PVC con un diámetro mínimo de 15.24cm. De manera opcional, podemos pintar el tubo de color negro, esto hace que se favorezca la absorción de calor y ayudaremos de esta forma a la descomposición del material del hoyo [30].

En las figuras 50 y 51 observamos el final del tubo de ventilación con la malla y el techo para que no penetre el agua.



Figura 50: Cabeza de una tubería de ventilación donde se aprecian las perforaciones y la boina que lo protege del agua de lluvia.

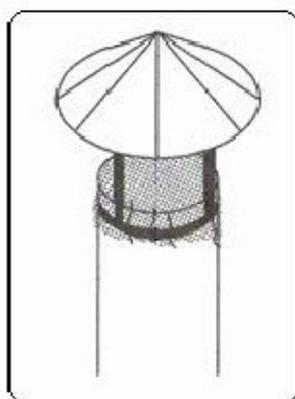


Figura 51: Tubo de ventilación con malla y techo [31].

Opciones técnicas

Las letrinas de hoyo seco, pueden construirse de un solo hoyo o de dos. Cuando por las características del suelo o por la presencia de agua subterránea no es posible hacer un hoyo grande, existe la posibilidad de construir dos más pequeños. En los casos de tener dos hoyos, podemos utilizar primero uno de los hoyos y luego trasladar todo el material de construcción (aparato sanitario, sistema ventilación etc.) al segundo o podemos hacer que cada hoyo cuente con su sistema de ventilación y aparato sanitario. Una de las ventajas de tener dos hoyos, es que mientras se utiliza el segundo hoyo, el primero se tapa y al cabo de dos años aproximadamente, el material depositado en el primer hoyo se puede utilizar como un acondicionador de suelos agrícolas. Este proceso, puede repetirse constantemente. En el caso de contar con dos hoyos, es muy importante que el hoyo que no se esté utilizando este bien sellado mediante un tapón que cubra los agujeros que dan al hoyo. En muchas ocasiones y para mejorar el manejo de las tapas si vamos a utilizar estas se pueden hacer de madera, de tal forma que sean menos pesadas y más manejables, esta opción nos sirve también para los distintos tipos de letrinas que se tratan en este manual.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

Este tipo de instalaciones de dos hoyos cuenta con las siguientes características:

- resulta fácil de instalar en terrenos difíciles (no tendríamos que cavar tan profundo).
- son instalaciones permanentes.
- reducen lo olores y la presencia de moscas.
- Son más costosas y requieren un mayor compromiso por parte de los usuarios para su mantenimiento, lo cual puede generar rechazo de la instalación debido a que estos se niegan a realizar dichas labores.

En cambio, las letrinas de un solo hoyo presentan otras características:

- Son fácilmente construibles por los usuarios con materiales de la zona.
- El control de los olores y criaderos de moscas resulta más sencillo, sobre todo si se utiliza el tubo de ventilación.
- Requiere una reubicación cuando el hoyo se llena.
- La vida útil de la letrina está muy ligada al tamaño del hoyo que se haya construido.

Otra de las opciones técnicas que sirve para casi todas las letrinas, es que si tenemos un suelo demasiado duro donde realizar una excavación profunda sea complicado, podemos realizar una instalación con un hoyo menor y que este sobre salga de la superficie teniendo que poner la caseta a cierta altura del piso y siendo necesaria la utilización de unas escaleras o una cuesta para acceder a la caseta. Esto encarece un poco la instalación, pero haría viables las letrinas en suelos donde no pueda realizarse un hoyo profundo.

Aparte de las letrinas sanitarias de hoyo seco (las más utilizadas en la Zona Andina), existe otra variante denominada letrina de pozo anegado. Esta es una alternativa de la “letrina séptica”, que se empezó a usar por primera vez en los Estados Unidos y que se caracteriza porque el depósito u hoyo es impermeable, con lo cual no pueden contaminarse ni el agua subterránea ni la superficial. Éstas, pueden instalarse cercanas a las viviendas ya que constituye una instalación permanente y no tienen riesgo de contaminación, pero tiene la desventaja de que cada cierto tiempo, deben realizarse labores de mantenimiento, retirando del interior del depósito el material acumulado. Este trabajo, sólo puede realizarse mediante equipos de bombeo especiales, bombas, mangueras etc. La construcción de este tipo de instalaciones resulta más cara que la letrina de pozo seco pero, al igual que la letrina de doble hoyo, esta instalación, también resulta permanente si se realiza un buen uso y mantenimiento de la misma, ya que cada cierto tiempo tendríamos que comprobar los niveles de agua para saber cuándo tenemos que vaciar el pozo de los lodos acumulados [31]. También resulta conveniente mencionar, que es necesaria la utilización de cierta cantidad de agua y esto puede ser un problema en época seca, cuando la cantidad de agua es escasa en la Zona Andina y sería una opción inviable allá donde no tengan disposición del recurso hídrico.

El agua que obtenemos de la poza ya tratada, puede tener varias funciones, del pozo puede ir a un segundo tratamiento como pueden ser los biofiltros o puede infiltrarse en la tierra alrededor de la letrina por medio de zanjas de infiltración.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

En la figura 52 podemos observar el esquema de una letrina de pozo anegado.

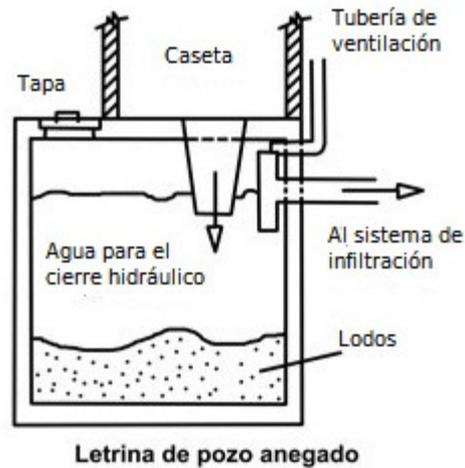


Figura 52: Esquema letrina de pozo anegado [62].

En los baños secos, también existe una opción técnica para evitar que las moscas que puedan ingresar en el hoyo y no puedan salir. Se trata de una trampa para moscas que consiste en una botella que se coloca en la estructura y que le llega la luz solar. La mosca que entre en el pozo oscuro de excretas podrá ver la luz que entra desde la botella introduciéndose en ella. Una vez dentro, la mosca no podrá volver a salir, muriendo en ella. Este sistema es sencillo y útil ya que evita la proliferación de enfermedades por medio de las moscas, aparte, el único mantenimiento que tiene que recibir es que cuando tengamos demasiadas moscas acumuladas en la botella esta la deberemos de sacar y vaciarla. En la construcción de la letrina, debemos de tener en cuenta que tenemos que cerrar bien los alrededores de la botella para que no pueda salir el olor del material acumulado en el hoyo. En el caso de los baños secos, solamente podremos utilizar esta tecnología en los casos que el baño se encuentre elevado del piso por el motivo de que la botella debería de recibir luz solar pero también se podría utilizar en otros casos como la letrina ecológica seca [43]. Podemos observar un ejemplo de esto en la figura 53.

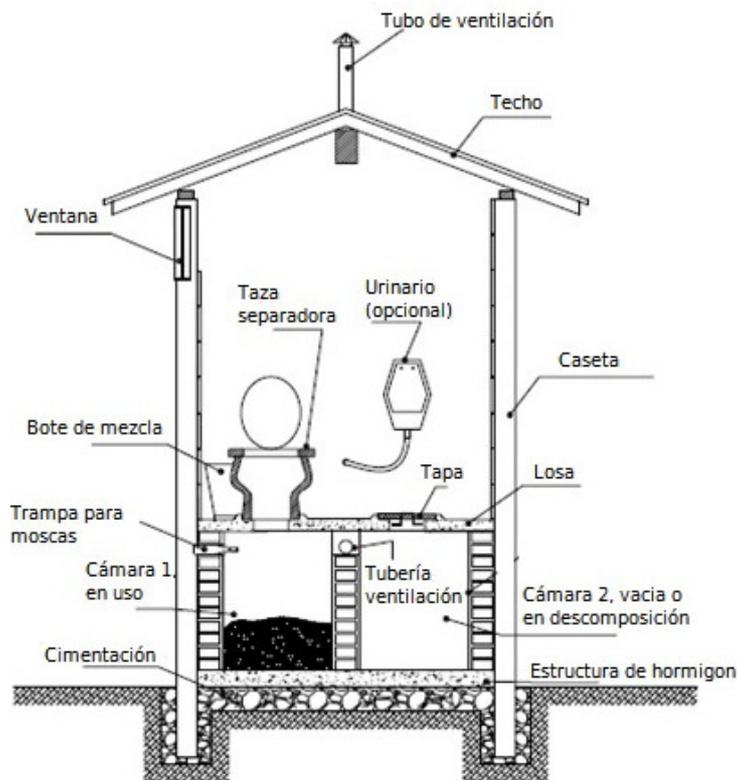


Figura 53: Esquema baño ecológico con trampa para moscas [43].

Operación y mantenimiento

Las labores de mantenimiento para la letrina de hoyo seco se resumen en:

- Limpiar la losa regularmente con agua y desinfectante para que la letrina se encuentre limpia y no cause malestar entre los usuarios.
- Semanalmente, aplastar las heces mediante un empujador para que no se genere una montaña y las heces ocupen todo el espacio de la fosa.
- Echar ceniza o cal al hoyo para reducir olores y facilitar el compostaje.
- Mantener tanto la puerta como la taza cerrada para evitar el ingreso de moscas o salida de larvas. En el caso de notar la presencia de insectos puede resultar útil arrojar al interior del hoyo un vaso de kerosene, el cual tiene un efecto repelente [44].
- Es importante que el usuario, después de la utilización de la letrina, arrojar las toallitas higiénicas dentro del hoyo y no utilice papeleras que puedan atraer a las moscas.
- Impedir que el agua de lluvia entre en el hoyo, para lo cual, puede realizarse una zanja alrededor de la caseta aparte de la colocación del brocal o el terraplén.

Aparte de estos consejos, para el mantenimiento es muy importante no arrojar al interior del hoyo material no biodegradable ni líquidos o polvos que afecten a la descomposición de las excretas, así como revisar el material de construcción, losa, caseta etc. regularmente, por si aparecen grietas o defectos y limpiar la malla protectora del tubo de ventilación. En el caso que encontremos desperfectos, éstos deberían arreglarse lo más rápidamente posible y si la situación lo permite, es recomendable utilizar los mismos materiales que se utilizaron en la construcción, es decir, si utilizamos madera para la caseta volver a realizar las reparaciones con madera.

En la figura 54, podemos observar los pasos a realizar cuando tengamos que cambiar una letrina de lugar una vez haya finalizado la vida útil del primero.

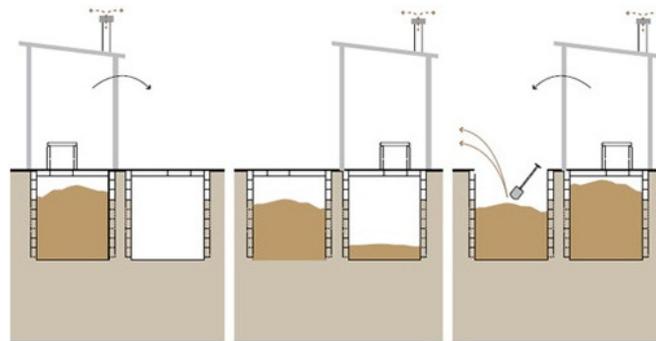


Figura 54: Proceso de cambio de caseta [64].

Cuando el contenido del hoyo cubra $\frac{3}{4}$ partes del mismo, debemos arrojar tierra sobre el mismo antes de sellarlo. Para ello, se puede aprovechar la extraída del nuevo agujero, donde irá instalada la nueva letrina, pero nunca antes de haber añadido cal para facilitar el compostaje en el hoyo que vamos a tapar [39]. En el interior de éste, se producirá una degradación anaeróbica que facilitará su descomposición. Para la utilización del contenido del 1º hoyo, deberemos esperar aproximadamente 2 años. Después de este proceso, en el 1º hoyo tendremos abono que podremos utilizarlo para mejorar los suelos destinados para la agricultura.

Resulta de vital importancia, que los programas de letrización estén precedidos por una intensa campaña de educación sanitaria, destinada a modificar distintas formas de comportamiento, de las personas que hacen sus necesidades fisiológicas en cualquier lugar escampado y oculto, para que lo hagan en un solo lugar adecuado para ello. Esta parte, como hemos comentado al principio del capítulo es de vital importancia, ya que se corre el riesgo de que los usuarios no acepten la letrina y la abandonen si no son conscientes de las bondades de la letrina [44].

Costes

La letrina de hoyo seco, tiene un coste variable, según los materiales que decidamos colocar pero una instalación con una tubería de ventilación puede variar entre 230.76\$ y 307.68\$. Casi siempre dependiendo del material de construcción de la caseta [78].

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

En la tabla 16, podemos observar datos orientativos.

LETRINA SANITARIA TIPO POZO SECO VENTILADO		
BROCAL DE PIEDRA ASENTADA CON BARRO	6,87	\$/m3
HORMIGON 140 Kg/cm ²	125,98	\$/m3
ACERO Fy=4200 Kg/cm ²	1,86	\$/Kg
MOLDE PARA LOSA DE LETRINA	42,01	\$/UD
MURO DE ADOBE DE BARRO (MURO DE SOGA)	1,10	\$/m2
CORREAS DE MADERA DE 2" x 1"	0,65	\$/m
LARGUEROS DE MADERA DE 2" x 3"	1,75	\$/m
MADERA ROLLIZA DE 4"	1,97	\$/m
COBERTURA	30,77	\$/UD
PUERTA	8,85	\$/UD
SALIDA DE VENTILACION PARA LETRINAS 4"	4,38	\$/UD

Tabla 16: Costos unitarios letrina seca [77].

2.1.2.2.2.- Letrina ecológica seca

El baño ecológico está orientado principalmente a la población que carece de adecuadas condiciones de abastecimiento de agua y disposición de excretas, ubicadas en zonas donde la napa freática se encuentra cercana a la superficie o en zonas con riesgos de inundación.

La orina y excretas humanas son recursos naturales, que se puede aprovechar en suelos agrícolas, mejorando la fertilidad de los suelos sin aumentar los costos de producción. Esto puede lograrse instalando una letrina ecológica seca, que a su vez supone una alternativa para la no utilización de agua. Es, por tanto, una letrina que con su funcionamiento ayuda a la protección del medio natural. Ésta se define como ecológica, debido a que aprovecha los ciclos biológicos naturales para transformar una materia orgánica (las excretas), en un producto inofensivo y listo para nutrir el suelo [30]. También la orina se puede utilizar como fertilizante pero su uso está menos desarrollado que el de las excretas.

En los siguientes capítulos ampliaremos la información aquí detallada.

Principio general de funcionamiento

El baño ecológico seco es un sistema de saneamiento donde se separa la orina de las heces humanas en el aparato sanitario. Esto facilita la deshidratación de las heces en cámaras impermeables, debido a que no se mezcla con líquidos, donde se puede añadir cal viva o ceniza para elevar el pH, secar las heces y reducir los olores. Mediante la deshidratación, logramos de una manera efectiva que no consigan vivir los agentes patógenos de las heces, especialmente los huevos de lombrices, ya que para la reproducción de los mismos es necesaria la humedad, la cual estamos evitando por la separación de la orina [35]. Transcurrido el tiempo de descomposición, las heces serán ahora abono y pueden ser usadas para el mejoramiento de los suelos de cultivo. Por otra parte, la orina también podemos aprovecharla, esta se almacena durante unas dos semanas en un recipiente tapado, para eliminar los microbios. Después de este tiempo, si mezclamos una parte de orina con tres de agua podemos utilizarla como fertilizante. Esta puede aplicarse en todo tipo de plantas que requieran de un aporte de nutrientes: hortalizas, hierbas, pasto, ornatos, árboles (ornamentales, frutales y forestales) [71].

Otro de los aspectos a tener en cuenta en la instalación de una letrina es el trabajo a realizar con los usuarios acerca de la capacitación en higiene ya que como se explicó en la opción de letrina de hoyo seco (véase punto [2.1.2.2.1.1.](#)) esta resulta muy importante para mantener un buen uso del sistema.

Instalación típica

En el siguiente apartado veremos las distintas partes de una letrina ecológica y su función en la propia instalación así como los requisitos necesarios para poder instalar una. Muchas de las partes que veremos a continuación derivan de la letrina de hoyo seco por lo que tienen una función igual o parecida (véase punto [2.1.2.2.1.2.](#)).

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

Requisitos:

- Una capacitación importante para hacer un buen uso del sistema y saber cómo reutilizar los materiales depositados en la letrina.
- Los materiales de construcción deben de ser accesibles y preferentemente de la zona.
- La letrina deberá orientarse, con la puerta, en sentido contrario, a la dirección predominante del viento.

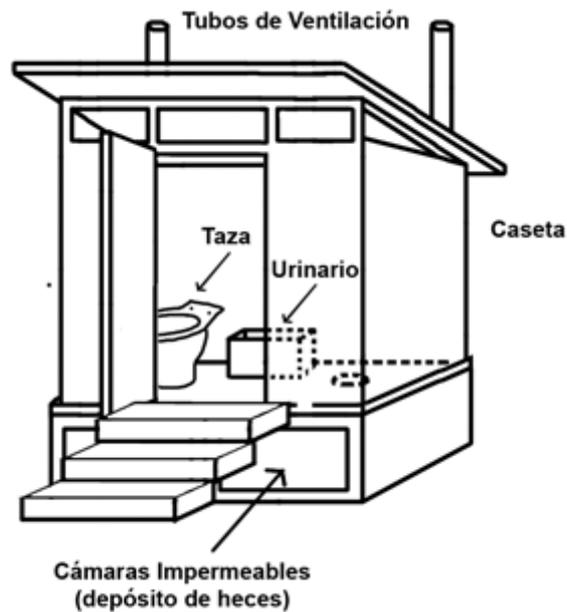


Figura 55: Estructura de letrina ecológica seca [66].

El baño ecológico seco se compone de las siguientes partes como podemos ver en la figura 55:

- Un recipiente de orina
- Cámaras impermeables con losa inferior
- Compuerta de cámara
- Piso o losa superior
- Tapones
- Taza separadora
- Urinario
- Una caseta con terraplén, tubo de ventilación

Recipiente para la orina: Se trata de un recipiente hermético, generalmente de plástico, con una capacidad mínima de 20 l donde se almacena la orina. Está conectado a la taza separadora para impedir que la orina ingrese en la cámara y al urinario en caso de que este se encuentre instalado [35]. Esta orina, después de dos semanas de almacenamiento en el recipiente, puede ser reutilizada como abono si mezclamos una parte de orina con tres de agua.

Compuerta de cámara: Se fabrican como las losas, de hormigón u hormigón armado y tienen forma cuadrada o rectangular. Desde esta se retira el contenido de la cámara por lo que resulta importante no abrirla hasta el momento de sacar las excretas ya convertidas en abono.

Losa inferior: Es la base de la cámara y evita el contacto con el suelo, esta se coloca sobre el terreno natural, previamente nivelado, y el hormigón utilizado puede ir reforzado con una malla de hierro. Una vez construida la instalación, es importante añadir una capa de tierra seca para que las excretas no se peguen a la losa, además esto facilitará la extracción de las excretas [35].

Cámaras: Es el lugar donde se depositan las excretas de, aproximadamente, unos dos años y es importante que sea impermeable. Puede construirse una o dos cámaras y el tamaño de las mismas varía de 1.1 m³ a 2.25 m³. El material de construcción puede ser de piedra, ladrillos, bloques de hormigón o madera. Suelen tener una forma cuadrada o rectangular y se construyen después de haber realizado una limpieza del terreno y la colocación de la losa inferior. Tenemos que dejar un hueco en una de las paredes para la compuerta, la cual se sellará por la parte superior con otra losa y sus respectivos orificios. En la figura 56, podemos observar un ejemplo de las cámaras vistas desde el exterior



Figura 56: Cámaras del proyecto de ISF y Soluciones Prácticas en la comunidad andina de Pucará.

Losa superior: Sirve como cierre de las cámaras y como piso para sostener a las personas y los aparatos sanitarios. La dimensiones de la misma, van desde 0.8 m a 1.5 m y esta debe de ser pulida para que su superficie sea lo más lisa posible y facilitar de esta forma la limpieza. Opcionalmente, la losa puede estar un poco inclinada para evitar la aparición de charcos debido a los restos de orina y limpieza. Debe de tener varios orificios, según la elección técnica, por donde caen las heces a la cámara. Si tiene más de un orificio, el que no estemos utilizando, deberá estar tapado para evitar la salida de olores. La losa se puede construir de hormigón, o de cualquier otro material que soporte el peso de las personas y los distintos aparatos.

Tapón: Debe de tener la forma del orificio de heces para conseguir el mejor cierre posible de la cámara que no se usa. Puede ser de madera, bloque de piedra o de otro material con tal de que cumpla con el objetivo de mantener aislado el hoyo correspondiente. Este puede incorporar un asa para facilitar la manipulación del mismo a la hora de mover el tapón.

Taza separadora: Es una taza que brinda comodidad a la hora de defecar, y que lleva en su interior un aparato separador de orinas y heces, para distribuir las heces al hoyo y la orina a su depósito. Aparte de esta forma, también existen las tazas llamadas “tipo turco”, que se colocan sobre la losa y que contienen únicamente dos agujeros, uno para heces y otro para la orina. En estas últimas, las personas deben de realizar sus necesidades de cuclillas. Las tazas separadoras pueden estar construidas de distintos materiales como el hormigón pulido, fibra de vidrio, losa vitrificada o ferro cemento.

Las figuras 57 y 58 muestran la taza separadora, donde podemos observar el agujero para las excretas y el orificio para la orina.



Figura 57: Taza separadora de orina y excretas.



Figura 58: Taza separadora del proyecto de ISF con Soluciones prácticas en la comunidad andina de Pucara.

Urinario: En muchas ocasiones existe la posibilidad de colocar en el baño un urinario. Este tiene como objetivo, hacer más cómodo el uso del inodoro a los hombres cuando estos únicamente van a orinar. Un ejemplo del mismo podemos observarlo en la figura 59. Con la colocación del urinario evitamos posibles mezclas entre el hoyo de excretas y la tubería para la extracción de orina ya que en este solo se orinaría. La instalación del urinario, se completa con la tubería que se une a la tubería del retrete que conduce la orina y ambas terminan en el recipiente de recolección de la orina. Resulta importante pero no imprescindible que después de cada uso del urinario arrojemos una pequeña cantidad de agua para que arrastre las posibles gotas que puedan quedarse en las tuberías.



Figura 59: Urinario del proyecto de ISF con Soluciones Prácticas en la comunidad andina de Pucara.

Caseta: La caseta, del baño ecológico, tiene las mismas funciones que la del baño de hoyo seco, podemos ver un ejemplo en la figura 60. Por lo tanto nos podemos remitir a la sección correspondiente del apartado de hoyo seco. La única diferencia es que en este caso lo normal es que la caseta siempre vaya elevada para evitar la entrada de agua de lluvia en la instalación,

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

mientras que en la letrina de hoyo seco esto aun siendo posible, no es estrictamente necesario. Normalmente, el baño ecológico también suele tener unas dimensiones mayores ya que suele contar con dos hoyos en vez de uno para que la instalación sea fija.

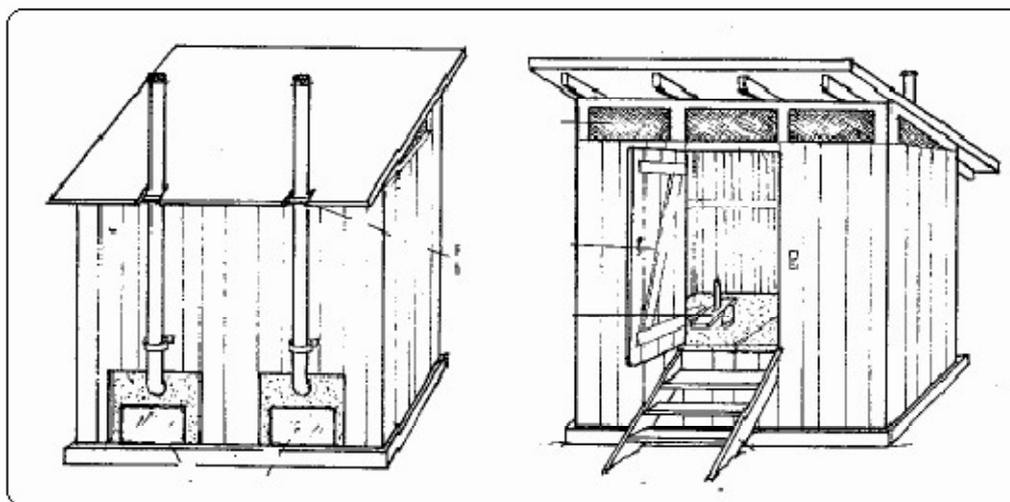


Figura 60: Caseta de letrina ecológica seca [30].

Tubo de ventilación: Como ocurre en el caso de baño de hoyo seco, la letrina ecológica, también puede llevar incorporado uno o dos tubos de ventilación. En el caso de que se decida realizar la instalación sin separación de orina, es necesaria la instalación del tubo de ventilación [39]. En la imagen superior, podemos diferenciar en una letrina los dos hoyos distintos con sus respectivos tubos de ventilación.

Opciones técnicas

Existen varias opciones técnicas de baños ecológicos secos que veremos a continuación.

Una opción es un baño ecológico de dos cámaras, por medio del cual se separan las heces de la orina y se aprovechan los ciclos biológicos naturales para transformar la materia orgánica en productos para nutrir el suelo como muestra la figura 61.

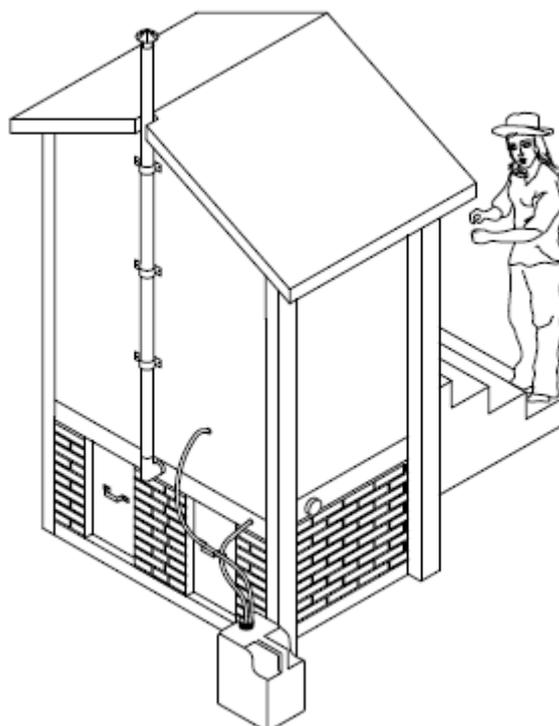


Figura 61: Baño ecológico de dos cámaras [43].

El baño ecológico de dos cámaras, tiene la ventaja de poder instalarse dentro de la vivienda y esto repercute en el mejor cuidado de la instalación. En cuanto a las desventajas diremos que en el baño ecológico de dos cámaras, el mal control de la humedad produce malos olores y el rechazo de los usuarios. En casos excepcionales también se han construido de un solo hoyo, pero esto es más complicado ya que al llenarlo deberíamos de hacer como con las letrinas de hoyo seco, construir un hoyo nuevo y trasladar la instalación.

En el caso de que el proceso de deshidratación funcione lento existen otras opciones que podemos utilizar. Es posible adaptar un ventilador o un calentador solar para acelerar este proceso. Esto suele suceder cuando nos encontramos en lugares con mucha humedad o en una época fría y con mucha lluvia [30].

Otra opción es el baño ecológico solar. En este caso, también se separan la orina de las heces y la diferencia radica en la cámara. Se debe de construir una sola cámara separada en dos partes y con una prolongación que se distancia de la caseta en una dirección orientada a recibir la mayor radiación solar. Esto queda reflejado en la figura 62. Este saliente se cubre con una lámina metálica pintada de negro que calienta el material de la cámara y acelera su secado. Esta opción, se trata de una tecnología que todavía no se ha investigado lo suficiente pero que está dando buenos resultados.



Figura 62: Letrina ecológica solar [65].

Cada quince días aproximadamente esta tapa se debe levantar y arrastrar las heces mezcladas con papel y cal o cenizas hasta debajo de la plancha metálica lo que permite que las heces puedan secarse en un plazo aproximado de 45 días. La forma del hoyo puede variar e incluso es posible que algunos diseños cuenten con un empujador para empujar las excretas hacia la zona de radiación solar. En este caso es recomendable contar con un tubo de ventilación, preferiblemente pintado de negro, para evitar malos olores y calentar mejor el depósito. El baño ecológico solar es más barato que la opción de dos cámaras pero, presenta dependencia de las condiciones climáticas (debido a la radiación solar) y la necesidad de remover constantemente las heces lo que puede generar que los usuarios abandonen la instalación.

Estas dos opciones planteadas, la de las letrinas de dos cámaras y la del baño ecológico solar tienen el inconveniente de ser más caras que las letrinas de hoyo seco, necesitan más cuidados y, necesitan disponer de material para el secado de las heces pero a la larga en muchas ocasiones resultan más baratas debido a que pueden llegar a ser instalaciones con una larga vida útil.

En muchas ocasiones, se puede optar por utilizar una tapa de madera para tapar el agujero. Esta puede llevar un asa para que sea más fácil su levantamiento y al ser de este material también resulta mucho más manejable ejerciendo la misma función que la tapa de hormigón. Esta misma tecnología también se puede reproducir en el resto de letrinas.

En los baños ecológicos al igual que en los secos también existe una opción técnica para evitar que las moscas que ingresen en el depósito no puedan salir. Se trata de una trampa para moscas que ya se ha explicado previamente en el apartado anterior. En el caso de los baños secos solamente podremos utilizar esta tecnología en los casos que el baño se encuentre elevado del piso por el motivo de que la botella debería de recibir luz solar, en cambio en los

baños ecológicos como estos, normalmente estarán elevados con respecto al suelo podremos utilizar esta técnica en todas las instalaciones [43].

Operación y mantenimiento

Como hemos comentado previamente, para el éxito de este tipo de baños es muy importante realizar un buen uso y mantenimiento del mismo. Por eso, se recomienda:

- Sentarse bien en la taza para que la orina se separe de las heces.
- Semanalmente aplastar las heces mediante un empujador para que no se genere una montaña y las heces ocupen todo el espacio de la fosa.
- Las toallitas higiénicas deberán ser arrojadas en una papelera, al contrario que se realiza en la letrina de hoyo seco. El material secante (cal o ceniza) se debe arrojar después de cada uso para evitar malos olores, debemos de tener cuidado en no obstruir el orificio para la orina. Es recomendable en el baño un cubo con el material para ser arrojado.
- Para evitar la entrada y salida de mosquitos es importante tener la caseta bien cerrada y la taza y los huecos bien cerrados. La higiene es también muy importante, por ello se debe limpiar habitualmente la taza, el urinario y la losa.
- No se deben arrojar dentro de las cámaras ni residuos sólidos ni líquidos diferentes a la orina y las heces salvo el desinfectante que pueda caer por la limpieza de la taza. Resulta imprescindible, que periódicamente se revise el estado de la instalación por si aparecen grietas o defectos que tengan que arreglarse.
- Al comienzo de la utilización de un pozo debemos de colocar una capa fina de tierra para que las excretas no se peguen a la cámara, de la misma forma cuando vaciemos una cámara para utilizarla como abono, tenemos la posibilidad de volver a arrojar otra capa fina de arena o dejar una capa fina de abono antes de volver a utilizar esa cámara.
- Se puede arrojar en los conductos de la orina un poco de agua después de cada uso para que esta arrastre los posibles restos que puedan quedarse en las tuberías.
- Es posible realizar también alrededor de la instalación una zanja para que el agua de lluvia no pueda acumularse en los alrededores del baño ecológico ya que esto podría ser la causa de que el sistema no funcione de la forma correcta.

Uno de los problemas al inicio del uso del sistema, es que los usuarios suelen ser reacios a trabajar con las excretas hasta que no lo ven con sus propios ojos. Por ello, la aceptación del sistema puede que cueste y en muchas ocasiones hasta que no ven a alguien trabajar con las excretas ya convertidas en abono no terminan de aceptar la nueva tecnología.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

Si nos ponemos a analizar el uso y mantenimiento de las distintas opciones tecnológicas, podemos observar que en las letrinas ecológicas solares es necesario remover cada 15 días, con un azadón, el contenido de la cámara para colocarlo debajo del colector solar y remover el material cada 45 o 60 días. En cambio, en la letrina ecológica de dos cámaras resulta muy importante el control de la humedad dentro de las cámaras.

Cuando una de las cámaras se llena en tres cuartas partes, esta debe de cubrirse con tierra pulverizada y cerrarla herméticamente para producir la descomposición anaeróbica de las heces, mientras, utilizaremos la segunda cámara. Cuando esta cámara llegue a su punto máximo, debemos realizar las mismas operaciones descritas para la primera cámara y debemos de abrir la compuerta de la primera cámara y sacar el contenido de la misma que podremos usar para mejorar los suelos agrícolas. Es importante, tener en cuenta que este tipo de abonos puede no ser bueno utilizarlo para las hortalizas puesto que debería de realizarse un examen para demostrar que el abono se encuentra libre de patógenos [29].

Costes

El costo de una letrina ecológica con tubo de ventilación, al igual que la de hoyo seco, puede variar dependiendo del material que utilizemos para su construcción. El precio de la letrina ecológica tiene un coste inicial medio, pero como hemos podido comprobar no es grande el mantenimiento a realizar y este no supondrá coste adicional alguno. Aparte la letrina de hoyo seco, se debe cambiar cada cierto tiempo por llegar al final de la vida útil de la misma mientras que en la letrina ecológica si se realiza un buen uso de ella puede durar muchos años por lo que se convierte en una opción verdaderamente interesante, ya que pese a la inversión inicial a lo largo de los años esta aportará menos gastos que el resto de opciones. Además debemos de añadir que es una de las opciones más saludables como hemos podido comprobar en los apartados anteriores [78].

2.1.2.2.3.- Letrina de arrastre hidráulico

Este tipo de letrinas es muy utilizado en las zonas periurbanas de grandes ciudades o en pequeños pueblos. Tiene la ventaja de que es posible construirlas en los interiores de las casas o en los patios y su mayor inconveniente, es el gran riesgo de contaminación de acuíferos cercanos a la instalación, si no se realiza una buena protección de los mismos [34]. Este tipo de letrinas, están diseñadas para usuarios con acceso a cantidades importantes de agua que puedan utilizarlas en el saneamiento de las aguas residuales y que no cuenten con redes de captación de agua residual. Por ello, resulta difícil encontrarlas en las viviendas aisladas en las zonas rurales. Pero resulta, ser muy útiles en zonas rurales cuando se tratan de instalaciones en edificios comunitarios como colegios, escuelas y otros parecidos.

La letrina de arrastre hidráulico no es posible construirla en áreas pantanosas, fácilmente inundables, o en suelos impermeables o con presencia de arcillas expansivas. Esto se debe al riesgo de contaminación de las aguas y por ello debemos de tener cuidado en donde proyectamos construir los pozos de la letrina, para que no existan sistemas de extracción de agua para consumo humano en un radio de 30 metros alrededor de ellas. Además, en cualquier caso las letrinas deberán ubicarse aguas debajo de cualquier pozo o manantial de agua destinada al abastecimiento para consumo humano [31].

Principio general de funcionamiento

La letrina de arrastre hidráulico, es una instalación parecida a la letrina de hoyo seco, la diferencia en este caso consiste en que la losa cuenta con un aparato sanitario dotado de un sifón que actúa como cierre hidráulico, el cual impide el paso de insectos y malos olores. En este caso no resulta necesario que el hoyo se encuentre en el mismo lugar que la letrina ya que cabe la posibilidad de utilizar una tubería que una ambas. Es necesario, en este tipo de letrinas, la utilización de agua que tome la función, de arrastrar las excretas desde el baño hasta el hoyo, siendo el uso de este recurso variable entre los 2 y los 4 litros, dependiendo del tipo de instalación [39].

El pozo suele estar revestido de algún material filtrante ya que el material efluente del hoyo se infiltra en la tierra que lo rodea mientras que los sólidos se acumulan en el pozo. Es necesaria, que la tierra donde instalemos este tipo de letrinas sea adecuada para que durante la vida del pozo esta sea capaz de absorber el material efluente. Por otra parte, resulta muy importante, tener en cuenta que las toallitas higiénicas no deben de ser nunca arrojadas al pozo ya que este material puede hacer que se obstruya la infiltración del efluente y generar problemas en el buen uso de la letrina [33].

Instalación típica

En el siguiente apartado, veremos las distintas partes de una letrina de arrastre hidráulico y su función en la propia instalación así como los requisitos necesarios para poder instalar una.

Muchas de las partes que veremos a continuación, derivan de la letrina de hoyo seco por lo que tienen una función igual o parecida (véase punto [2.1.2.2.1.2.](#)).

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

Requisitos [34]:

- Una capacitación importante para hacer un buen uso del sistema.
- Los materiales de construcción deben de ser accesibles y preferentemente de la zona.
- Debe diseñarse para que la instalación sea permanente.
- Espacio suficiente tanto en el interior como en el exterior, tanto para el baño como para el pozo.
- El pozo no debe de estar en un radio menor a 30 m de la fuente de agua más cercana y siempre aguas debajo de la toma de agua para consumo humano.
- Diseñar una estrategia para desechar el material de remoción que se creara en el pozo.
- Normalmente cuentan con un proceso previo por medio de biodigestores o un tanque séptico. Al final el agua puede filtrarse por medio de pozos o zanjas de infiltración.

La letrina de arrastre hidráulico se compone de los siguientes elementos [34]:

- Un aparato sanitario
- Una caseta con terraplén y tubo de ventilación
- Las tuberías
- Un hoyo
- Un brocal (opcional)
- Una losa o tapa.

Caseta: Se trata de un tipo de letrina que por su característica de arrastre hidráulico puede colocarse en el interior de la vivienda o en el exterior de la misma. Las casetas situadas en el exterior de la vivienda, suelen ser, como mínimo, de 1,90m de altura.

El material de construcción empleado en la fabricación de la caseta debe adecuarse a las condiciones climáticas del lugar de modo que no exponga al usuario a condiciones de incomodidad y es preferible que los materiales se encuentren en el entorno del usuario, para facilitar reparaciones y conseguir un menor coste del mismo.

El resto de características, de construcción son las mismas que las letrinas de hoyo seco por lo que nos podemos remitir al apartado donde estas han sido explicadas (véase punto [2.1.2.2.1.2.](#)).

En la figura 63, podemos observar diferentes tipos de casetas para letrinas que pueden servir para cada uno de los tipos diferentes de letrinas analizados en este documento.



Figura 63: Tipos de casetas para letrinas [31].

Aparato sanitario: Este podría ser igual que el descrito en la sección de hoyo seco, con la única diferencia de que deben de ir dotados de un sifón que sirve para la formación del sello hidráulico. Para evitar la salida de malos olores por medio de la tubería. En la figura 64 se puede observar la estructura del sifón comentado anteriormente.

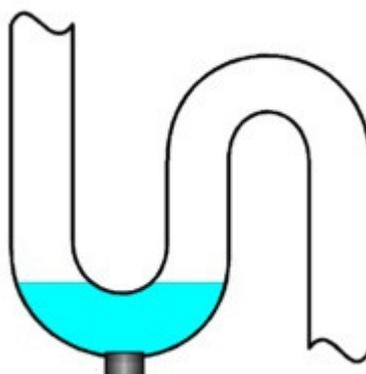


Figura 64: Forma del sifón en el baño de arrastre hidráulico.

El cierre hidráulico, consiste en retener una cantidad pequeña de agua en el aparato sanitario para que sobre él se depositen la orina y excretas en el siguiente uso del baño. El aparato sanitario puede ir dotado de distintos sistemas que puedan arrojar agua una vez realizado el uso del mismo. Estos sistemas pueden ser diferentes, un tanque elevado o un tanque bajo que con accionar una palanca el agua cae por gravedad arrastrando el material acumulado en la taza sanitaria. El otro sistema, se trata de la utilización de un tanque lleno de agua que se arroja manualmente al aparato sanitario después de cada uso.

Conducto: La tubería de evacuación debería de tener un mínimo de 100 mm de diámetro y estar construida con una leve pendiente entre el aparato sanitario y la caja receptora mayor al 3%. Cuando en la instalación del conducto dispongamos de un tubo de ventilación, este se instalara sobre la tubería de evacuación y deberá ser de las mismas características que el tubo de ventilación de la letrina de hoyo seco, con la excepción que si la letrina de arrastre hidráulico, está situada en el interior de la casa el tubo de ventilación debería de sobresalir por

encima de la casa. Importante no olvidarnos de colocarle la malla protectora de mosquitos y el techo a la tubería de ventilación.

Cuando un pozo termine por llenarse, deberemos de crear otro pozo y adaptar el conducto para que este se conecte con la nueva instalación por medio de una caja separadora.

Hoyo o Pozo: El hoyo a construir debe de tener las mismas características explicadas anteriormente en el apartado de letrina de hoyo seco.

Brocal: El brocal puede construirse de diversos materiales como el hormigón simple o reforzado, el ladrillo o bloques de piedra u hormigón. Su construcción, al igual que en la letrina de hoyo seco debe iniciarse faltando 0,30 metros para llegar a la superficie del suelo y elevarse 0,05 metros sobre el nivel del suelo para evitar la entrada de agua al hoyo. Es muy importante, que la boca del brocal tenga la misma geometría que la sección transversal del hoyo. En la figura 65 podemos ver el esquema y los distintos elementos de un baño de arrastre hidráulico.

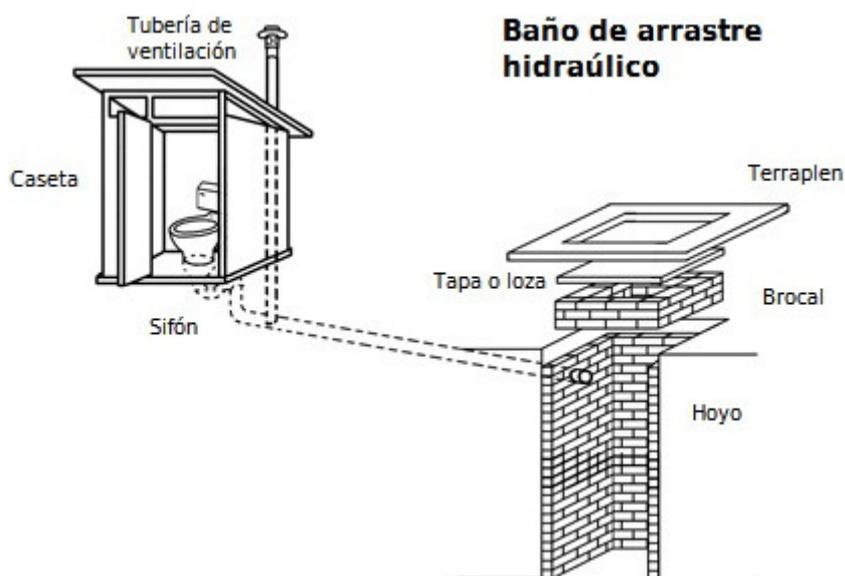


Figura 65: estructura de letrina de arrastre hidráulico [62].

Losa-tapa: La losa deberá ser construida con hormigón reforzado, que le permita soportar cualquier sobrecarga a la que pueda ser sometida por el peso y la acción del hombre así como por el peso de los materiales situados encima de la misma. Esta, debe de cubrir totalmente el perímetro del brocal y es importante que se encuentre un poco elevada de la capa de tierra para evitar la entrada de agua al pozo.

Terraplén: Opcionalmente, podemos colocar un terraplén alrededor de la letrina para ayudar a que no entre agua y proteger la losa. Este se puede construir de diversos materiales como podemos ver en la explicación de la sección de hoyo seco y debería de tener un ángulo de 45º con el nivel del suelo [31].

En algunas ocasiones cuando disponemos de un sistema de alcantarillado o este nos llega mientras usamos la letrina, es posible realizar la conexión a dicho sistema.

Opciones técnicas

En las letrinas de arrastre hidráulico, una de las opciones técnicas es construir una letrina no con un pozo si no con dos. En estos casos, deberemos de colocar una caja separadora que definirá a cuál de los dos pozos se desplazaran los residuos procedentes de la letrina, obstruyendo el paso hacia el otro. Solamente funcionara uno de los pozos mientras que el otro permanecerá en desuso y cuando el que se encuentra en funcionamiento se sature deberemos de empezar a utilizar el segundo, pozo y obstruir la entrada al primero. Para reducir los costos iniciales de la instalación se puede realizar primero sólo uno de los pozos y cuando este se encuentre casi en su nivel de saturación construir el segundo [78].

Una de las opciones técnicas para la instalación de estos sistemas, es instalar un tanque séptico o un biodigestor para hacer un tratamiento previo a la entrada de aguas negras al hoyo. La mayor ventaja de esta opción es que se reducen las posibilidades de contaminación de aguas subterráneas. En los tanques sépticos y biodigestores se suceden los siguientes procesos:

- Retención de espumas y objetos flotantes.
- Sedimentación de sólidos por proceso anaeróbico
- Digestión de la materia orgánica sedimentada
- Descarga del agua residual clarificada.

En la figura 66 podemos ver la forma de un tanque séptico.

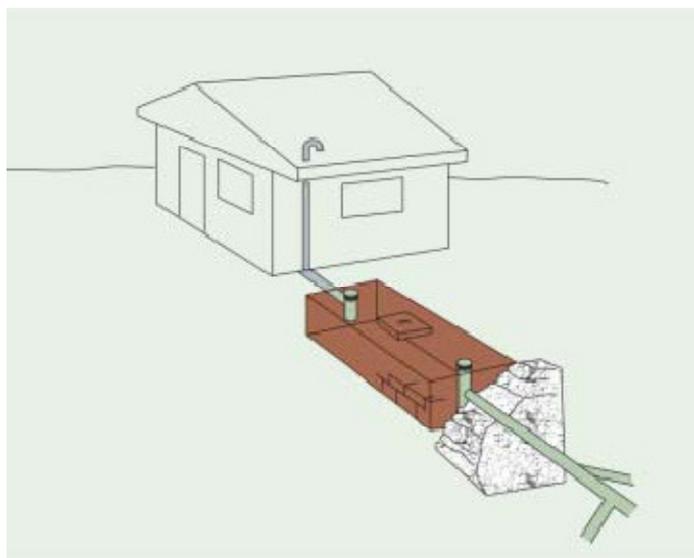


Figura 66: Conexión de un tanque séptico con vivienda.

Se trata de un sistema adecuado para viviendas que cuenten con conexiones de agua, que cuenten con un suelo no inundable y preferentemente permeable. Este sistema también tiene la ventaja de poder conectarse a la red, pero tenemos que tener en cuenta, que el sistema

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

resulta más costoso que el alcantarillado si este lo tomamos como sistemas individuales para cada vivienda. En este proceso, es necesario, retirar los lodos y sólidos periódicamente e incluso este sistema puede requerir de un campo de infiltración para líquidos como pos tratamiento para el agua que sale relativamente tratada. Para darle un mejor uso al tanque, una de las opciones que nos podemos plantear es el unir varias viviendas a la misma poza séptica, con esto conseguiríamos reducir los costos notablemente.

El agua que sale del tratamiento de aguas negras, necesita de un tratamiento adicional debido a que en el tratamiento primario no se descompone la materia orgánica totalmente ni ocurren procesos de desinfección. Para ello, de forma opcional, se puede instalar zanjas o pozos de infiltración donde se distribuye el agua residual mediante unas largas tuberías y esta termina por infiltrarse en la tierra.

En la figura 67, se puede observar una letrina con un tanque séptico y un pozo de infiltración.

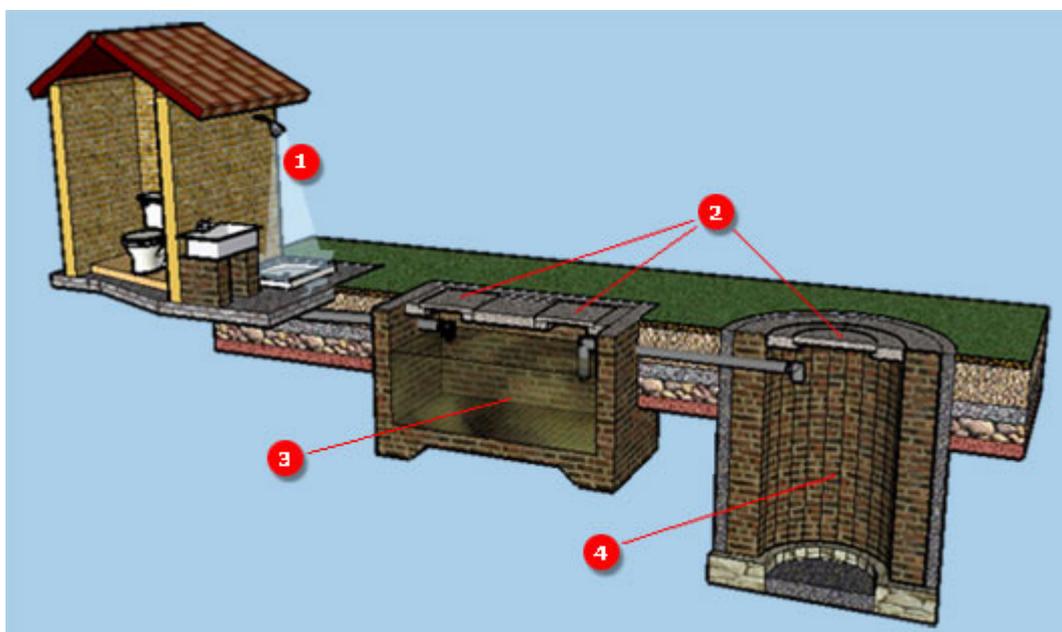


Figura 67: Letrina de arrastre hidráulico con tanque séptico (3) y pozo de infiltración (4) [78].

Una solución alternativa a los tanques sépticos son los biodigestores, prefabricados junto con una zanja de infiltración. Esta combinación, da un buen tratamiento a las aguas negras y grises [78]. Se trata de un biodigestor auto-limpiante, que cada 18 – 24 meses se procede a la evacuación de los sólidos acumulados y que el agua residual tratada en el mismo va a la zanja de infiltración donde se puede reutilizar para cultivos o simplemente para que vuelva a la tierra. Un ejemplo del mismo podemos observarlo en la figura 68.



Figura 68: Biodigestor prefabricado [78].

Operación y mantenimiento

En general se puede decir que el mantenimiento de las letrinas de arrastre hidráulico frente a las de hoyo seco suele ser más sencilla. Para esta opción de letrinas deberemos de seguir las siguientes acciones:

- Para el buen uso del sistema, al ser necesario la utilización del agua, es conveniente que en la caseta se pueda encontrar a mano un cubo con agua de lavado que deberemos arrojar cada vez que utilicemos el baño.
- Reponer el cubo de agua cada vez que lo usemos para que el siguiente ya lo tenga preparado.
- La tapa de la letrina, deberá de encontrarse bien cerrada después de cada uso. Con esto evitaremos los malos olores y los criaderos de moscas.
- Revisar periódicamente toda la instalación, para evitar que salgan grietas o averías. En el caso de detectar anomalías en la instalación están deberán de repararse cuanto antes.
- Realizar la limpieza de la caseta y de la losa de una manera frecuente, la función de esta acción es importante para que el usuario pueda sentirse cómodo y el espacio de la letrina sea lo más agradable posible [39].
- Realizar un buen cierre de la instalación, una vez llegue al final de su vida útil, debemos de dejar en el pozo, espacio suficiente para arrojar cierta cantidad de tierra, sellar el hoyo y de esta forma evitar la contaminación de la superficie con organismos patógenos. En este caso, es igual que en la letrina de hoyo seco, una vez se completa el hoyo y este no puede volver a utilizarse deberemos de seguir los mismos pasos explicados en el apartado anterior, sellar con tierra el hoyo, construir un nuevo hoyo en otro lugar diferente, trasladar todos los materiales que sean posible y construir la nueva letrina en un lugar elegido. En el caso de que la letrina este en un sitio diferente al hoyo, solamente se debería de adaptar la tubería.

- En el caso de utilizar un tanque séptico, es importante tener en cuenta que si el tanque es nuevo, el comienzo del proceso anaeróbico tardará en iniciarse, por lo que puede ser recomendable, agregar lodos de otros tanques que ya se encuentren en funcionamiento, esto agilizaría el inicio del proceso.

En la figura 69, podemos observar dos ejemplos de reparación de la instalación.



- Figura 69: Posibles labores de mantenimiento de una letrina [37].

Referencias bibliográficas

- [1]: JUVENAL, Bautista. Agua segura: haciendo uso de sistemas unifamiliares y filtros de bioarena. Forma e imagen de Billy Víctor Odiaga Franco. 2010.
- [2]: ORGANIZACIÓN PANAMERICANA PARA LA SALUD, COSUDE. Alternativas tecnológicas en Agua y Saneamiento utilizadas en el ámbito rural del Perú. Lima 2006.
- [3]: PEROTTI, Luis. Construcción de un Depósito de agua. Instituto nacional de tecnología agropecuaria. 2004.
- [4]: ISF. Curso de introducción: Agua y Desarrollo Humano.
- [5]: ORGANIZACIÓN PANAMERICANA PARA LA SALUD, COSUDE. Criterios básicos para la implementación de sistemas de Agua y Saneamiento en los ámbitos rural y de pequeñas ciudades. Lima 2006.
- [6]: INGENIERÍA SIN FRONTERAS. El agua en nuestras comunidades. Icaria 2011.
- [7]: Guía de tecnologías apropiadas para adaptación a cambio climático en vivienda saludable y saneamiento básico para el medio rural. Diciembre 2009.
- [8]: ORGANIZACIÓN PANAMERICANA PARA LA SALUD, COSUDE. Guías para el diseño de Depósitos elevados de agua potable. Lima 2005.
- [9]: ORGANIZACIÓN PANAMERICANA PARA LA SALUD, COSUDE. Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización. Lima 2005.
- [10]: ORGANIZACIÓN PANAMERICANA PARA LA SALUD, COSUDE. Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero. Lima 2005.
- [11]: ORGANIZACIÓN PANAMERICANA PARA LA SALUD, COSUDE. Guías para la construcción de Depósitos elevados de agua potable. Lima 2005.
- [12]: ORGANIZACIÓN PANAMERICANA PARA LA SALUD, COSUDE. Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero. Lima 2005.
- [13]: Manual de Procedimientos Técnicos en Saneamiento. Aprisabac. Periodo 1993-1997.
- [14]: ORGANIZACIÓN PANAMERICANA PARA LA SALUD, COSUDE. Operación y mantenimiento de sistemas de alcantarillado sanitario en el medio rural. Lima 2005.
- [15]: CASTRO Rosario, PEREZ Rubén. Saneamiento rural y salud. Diciembre 2009

- [16]: COSUDE, PROYECTO ASTEC, PROGRAMA DE AGUA Y SANEAMIENTO AMERICA LATINA Y CARIBE. Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. Abril 2006.
- [17]: IDEASS. Biofiltros domiciliarios: filtros biológicos para la remoción de nutrientes de aguas grises.
- [18]: FOIDL Nicolaus. Investigaciones en un proyecto y manejo adecuado de Biofiltros. 1999.
- [19]: BUENFIL Jacinto. Biofiltro: La Jardinera que Filtra las Aguas Grises para Reciclarlas. El Taller de Artes y Oficios AC y Sarar Transformación SC.
- [20]: ORGANIZACIÓN PANAMERICANA PARA LA SALUD, COSUDE. Tecnologías alternativas para la provisión de servicios de Agua y Saneamiento en pequeñas localidades. 2004.
- [21]: SALUS SIN LÍMITES, ITDG, CENCA. Manual de construcción de baño ecológico seco.
- [22]: ALVARADO ABANTO Beatriz, PROPILAS, CARE PERÚ, COSUDE. Tecnologías apropiadas para poblaciones rurales dispersas.
- [23]: ORGANIZACIÓN PANAMERICANA PARA LA SALUD, COSUDE. Guía de diseño para captación del agua de lluvia. Lima 2004.
- [24]: MELLADO Roció. Tratamiento de agua con filtro de bioarena. Revista "agua" nº 24. Lima 2007.
- [25]: MARRÓN César, ITDG. Plantas de tratamiento por filtración lenta. AU Arte gráfico publicaciones S.R.L. 1999.
- [26]: ROJAS Ricardo, SANDOVAL Pedro, PERUSAN. Estudio de oferta de productos y servicios sanitarios de bajo costo en el Perú. 2007.
- [27]: SOLUCIONES PRÁCTICAS, MARISCAL Jorge, VARGAS Adolfo. Mantenimiento de casas, cocinas, y letrinas de quinchá mejorada. Famimpress S.A.C. Lima 2009.
- [28]: BAUTISTA Juvenal, SOLUCIONES PRÁCTICAS-ITDG. Saneamiento responsable: Haciendo uso de baños ecológicos secos. Forma e imagen. 2009
- [29]: PROYECTO DE PUBLICACIONES DE ALCANZAMOS. Construcción del sanitario ecológico seco separador. 2004.
- [30]: ORGANIZACIÓN PANAMERICANA PARA LA SALUD, COSUDE. Guías de diseño para letrinas de procesos secos. Lima 2005.
- [31]: ORGANIZACIÓN PANAMERICANA PARA LA SALUD, COSUDE. Guía de diseño de letrina con arrastre hidráulico y letrina de pozo anegado. Lima 2005.

[32]: CARE. Baño Seco Abonero “Mi Baño Bonito”: Proyecto Piloto “Soluciones Alternativas Para el Saneamiento”.

[33]: ÁLVAREZ Róger, ISLAS DE PAZ. Dispositivos de tratamiento familiar de aguas residuales en el ámbito rural. 2011.

[34]: ALVÉSTEGUI Alfonso, PROGRAMA DE AGUA Y SANEAMIENTO, AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (PAS-LAC). Tecnologías alternativas para la provisión de servicios de Agua y Saneamiento en pequeñas localidades. Stampa gráfica. 2004.

[35]: VARGAS SALCEDO Burgos, ORE VILCATOMA Edgar, CARE. Diseño, construcción y mantenimiento de letrinas ecológicas. Publimagen ABC sac. 2006.

[36]: BELLIDO Eugenio, CARE. El control de olores en letrinas rurales. INDEART SAC. 2004.

[37]: ORGANIZACIÓN PANAMERICANA PARA LA SALUD, COSUDE. Operación y mantenimiento para letrina con arrastre hidráulico y letrina de pozo anegado. Lima 2005.

[38]: AGÜERO PITTMAN Roger, SER. Agua potable para poblaciones rurales: sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento. Tarea asociación Gráfica Educativa. Lima 2009.

[39]: AGÜERO PITTMAN Roger, CRISTINA LAMPOGLIA Teresa, TORRES RUIZ Ricardo, BARRIOS NAPURÍ Carlos. Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades. Forma e imagen de Billy Víctor Odiaga Franco. 2009

[40]: AGÜERO P. Roger, CORNEJO O. Carlos, MONTALVO R. Rosa, VIDALÓN Q. Nicanor, SER. Manual de operación y mantenimiento de sistemas de agua potable por gravedad sin tratamiento. 2004.

[41]: BANCO MUNDIAL. Creando mercados de saneamiento. Matices`s Arte y Publicidad EIRL. 2011.

[42]: LEÓN OBANDO Victoria, SOLUCIONES PRÁCTICAS-ITDG, ISF. Operación y mantenimiento de sistemas de agua potable. Giacomotti comunicación gráfica S.A.C. 2012.

[43]: EQUIPO DE PUBLICACIONES DE ALCANZAMOS. Sanitario ecológico seco separador. 2005.

[44]: LOPEZ CACERES Oscar, CARE. Documentos Técnicos de Riesgo de Salud Ambiental Agua y Saneamiento. 2002.

[45]: FLORINDEZ DIAZ Antenor, GALLARDO MARTICORENA Mirella, INSTITUTO CUENCAS, GIZ, GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA, RURANDES. Sistemas de riego predial regulados por micro Depósitos. Giacomotti Comunicación Gráfica SAC. 2011

[46]: ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO. Selección del sistema de tratamiento.

Tecnologías Apropriadas para abastecimiento de Agua y Saneamiento en la Zona Andina para poblaciones rurales y aisladas.

- [47]: IPES-ELKARTEA. Guía para la incorporación del enfoque basado en derechos humanos en las intervenciones de cooperación para el desarrollo. DeGraft Integral S. L. Madrid Septiembre 2011.
- [48] PAU LILLO RODRIGO. Análisis de proyectos de electrificación rural en términos de bienestar y agencia. Estudio de 4 comunidades en Cajamarca, Perú. Universitat Politècnica de València
- [49]:<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-3sas.htm> “Guía de orientación en saneamiento básico”. Abril 2013
- [50]:<http://py.m.globedia.com/filtros-potabilizacion-agua-uso-domestico-humano> “Filtros para la potabilización de agua de uso doméstico y humano”. Abril 2013
- [51]:<http://www.disaster-info.net/desplazados/documentos/saneamiento01/1/12recom.htm> “Recomendaciones para la inspección sanitaria de sistemas de abastecimiento”. Abril 2013
- [52]:<http://amanecerarq.blogspot.com/2009/12/planteamiento-estructural.html> “Criterios para el planteamiento del sistema de Captación de aguas pluviales”. Abril 2013
- [53]:<http://www.ingenierocivilinfo.com/2012/06/galerias-filtrantes-galeria-o-boveda.html> “Galerías Filtrantes: Galería o bóveda, Tubo de infiltración”. Abril 2013
- [54]:<http://www.estanques.net/cuidado-del-agua-del-estanque/analisis-del-agua-con-aqua-activ-quickstick/> “Análisis del agua” Abril 2013
- [56]:<http://www.drinking-water.org/html/es/ImageView/00000295.html> “Foto desinfección solar, SODIS” Abril 2013
- [57]:<http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Aguas/Desbaste.htm> “Desbaste” Abril 2013
- [58]:<http://separadoresdeaceites.com/> “Separador de aceites” Abril 2013
- [59]:<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/ar1999/foidl.pdf> “Investigación en un proyecto y manejo adecuado de biofiltros” Abril 2013
- [60]:<http://www.col.ops-oms.org/saludambiente/guia-tanquessepticos.htm> “Tanques sépticos” Abril 2013
- [61]:<http://www.col.ops-oms.org/saludambiente/guia-letrinas.htm> “Letrinas” Abril 2013
- [62]:<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-4sas.htm> “Guía de orientación en saneamiento básico” Abril 2013
- [63]:<http://saneamientoambiental.tripod.com/id5.html> “Disposición de excretas” Abril 2013

- [64]:<http://www.alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/s/s5.html> "Fosa alterna" Abril 2013
- [65]:<http://www.mitosyfraudes.org/Polit/FestivalCiencia.html> "Técnicas simples para África" Abril 2013
- [66]:<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-4sas.htm> "Principales sistemas rurales de saneamiento" Abril 2013
- [67]:<http://www.perusan.org/contenido.php?idsubc=45> "Conferencia peruana de saneamiento" Abril 2013
- [68]:<http://mioplanet.org/la-ruta-de-la-caca-possible-soluci%C3%B3n-construcci%C3%B3n-de-un-ba%C3%B1o-seco> "Construcción e un baño seco" Abril 2013
- [68]:<http://www.scribd.com/doc/32786383/MANUAL-BASICO-DE-ECOTECNIAS> "Manual básico de ecotecnias" Abril 2013
- [69]:<http://www.scribd.com/doc/47603975/Memoria-de-diseno-Autoguardado-Autoguardado-Autoguardado> "Alternativas del saneamiento" Abril 2013
- [70]: http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/apendiceA.html "Prueba de percolación" Abril 2013
- [71]:<http://www.sarar-t.org/sistemas/FICHA%20SARAR%20-%20MANEJO%20USO%20DE%20ORINA.pdf> "Manejo y uso de orina" Abril 2013
- [72]:<http://www.scribd.com/doc/50888766/34/VI-DISENO-DE-BIOFILTROS> "Tecnología sostenible para el tratamiento de aguas residuales" Abril 2013
- [73]:<http://www.disaster-info.net/desplazados/documentos/saneamiento01/1/index.htm> "Abastecimiento y calidad del agua" Abril 2013
- [74]:<http://www.itacanet.org/esp/home.html> "Agua y Saneamiento" Abril 2013
- [75]:<http://www.inei.gob.pe/> "Instituto nacional de estadística e información, Perú" Abril 2013
- [76]:<http://www.comitesromero.org/tarragona/fichas/ficha3.pdf> "Desinfección del agua para el consumo" Abril 2013
- [77]: Care Perú.
- [78]: Soluciones prácticas-ITDG.
- [79]: SER
- [80]: Instituto cuencas
- [81]: ISF Euskadi

