Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

**Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE**

IEP Instituto de Estudios Peruanos

Opciones Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural

Proyecto SABA –Perú

Hildegardi Venero
Herbert Pacheco

Lima, febrero del 2013

Índice

1. Introducción..... 4
2. Tecnologías para el Abastecimiento de Sistemas de Agua Potable 6
2.1. Tecnologías para el abastecimiento de agua en centro poblados concentrados..... 6
2.1.1. Sistemas de Agua Potable por Gravedad sin Tratamiento..... 7
2.1.2. Sistemas de Agua Potable por Gravedad con Tratamiento 9
2.1.3 Sistemas de Agua Potable por Bombeo sin Tratamiento..... 10
2.2. Tecnologías para el abastecimiento de agua en centros poblados dispersos 11
2.2.1. Captación de aguas subterráneas: protección y captación de manantiales..... 11
2.3. Innovaciones en las Tecnologías de Abastecimiento de Agua 26
2.3.1. El Ferrocemento Aplicado a Tanques de Almacenamiento 26
3. Tecnologías para la eliminación sanitaria de excretas 47
3.1. Tecnologías In Situ 47
3.1.1. Baños de Arrastre Hidráulico..... 47
3.2. Tecnologías con recolección..... 58
3.2.1. Alcantarillado de pequeño diámetro 58
3.2.2. Baños secos ecológicos..... 67
4. Tecnologías complementarias para el uso del agua 74
4.1. Sistema Solar de calentamiento del Agua por Goteo para Mejorar los Hábitos de Aseo en Escuelas Rurales 74
5. Recomendaciones y Conclusiones..... 83

Siglas y acrónimos

ATM	Áreas Técnicas Municipales
AOM	Administración, Operación y Mantenimiento
CEPIS-OPS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
DISABAR	Dirección de Saneamiento Básico Rural
DNS	Dirección Nacional de Saneamiento del MVCS
GL	Gobierno Local
GN	Gobierno Nacional
GR	Gobierno Regional
IEP	Instituto de Estudios Peruanos
JASS	Junta Administradora de Servicios de Saneamiento
LOM	Ley Orgánica de Municipalidades
LOGR	Ley Orgánica de Gobiernos Regionales
MINSA	Ministerio de Salud
MOF	Manual de Organización y Funciones
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
OC	Organización Comunal
PDL	Plan de Desarrollo Local
PIA	Presupuesto Institucional de Apertura
POA	Plan Operativo Anual
PRONASAR	Programa Nacional de Agua y Saneamiento Rural
PROPILAS	Proyecto Piloto de Agua Potable Rural y Salud Comunitaria
ROF	Reglamento de Organización y Funciones
SABA	Modelo Integral de Saneamiento Básico Rural
SANBASUR	Proyecto de Saneamiento Ambiental Básico en la Sierra Sur
SAP	Sistema de Agua Potable
SIAS	Sistema de Información en Agua y Saneamiento
SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
TUPA	Texto Único de Procedimientos Administrativos
USAID	Agencia de los EE.UU. para el Desarrollo Internacional

1. Introducción

El desarrollo de las **opciones tecnológicas en servicios de agua y saneamiento para el ámbito rural**, que sean factibles (bajo costo) y técnicamente sustentables (social y económica), constituyen un potencial importante para la ampliación de servicios de agua y saneamiento en zonas con alta incidencia de pobreza.

En este documento, se considera como opción tecnológica, a todas aquellas que son usadas en la construcción de servicios de agua y saneamiento, y que están orientadas a solucionar el problema de la falta de abastecimiento de este tipo de servicios, que sin embargo tiene la particularidad de haber sido puestas en práctica por el Proyecto SABA desde su primera fase en 1996 (en ese entonces el proyecto SABA, se denominaba Sanbasur en Cusco y Propilas en Cajamarca).

El objetivo general de este documento es compartir las principales **opciones tecnológicas** que pueden ser usadas en el área rural del Perú, validadas en campo, que han permitido optimizar recursos materiales y humanos sin arriesgar la calidad y durabilidad de las estructuras en los sistemas de saneamiento básico ambiental, que sean fácilmente replicables.

La Línea de Base de Indicadores Sociales y de Gestión de Servicios de Agua y Saneamiento (IEP, 2011), da cuenta que solamente el 32% de los hogares del sector rural cuentan con servicios de agua. En un análisis del estado en la infraestructura de los sistemas de agua y saneamiento, tomando en cuenta todos los componentes del sistema[1], se da cuenta que la mayor parte de la infraestructura se encuentra en mal estado (68%), el 30% en condición de regular y solamente el 2% en buen Estado.

El 68% de hogares no cuentan con sistemas de agua y saneamiento, en ese sentido el reto que se tiene para ampliar estos servicios en el ámbito rural, están relacionados no solamente con la construcción de nueva infraestructura, sino también con la rehabilitación y ampliación de los sistemas existentes dado el estado en que se encuentran.

En ese sentido, la sistematización de opciones tecnológicas validadas en campo, para la construcción de servicios de agua y saneamiento, constituye una necesidad en un contexto en el que el gobierno tiene como meta ampliar los servicios en 25 puntos porcentuales de cara al 2016. Conseguir este objetivo permitirá no solo la construcción de infraestructura, sino también que se integren labores de capacitación en educación sanitaria, así como en la administración, operación y mantenimiento de los sistemas.

Para elaborar este documento se han tomado en cuenta e incluido todo el material producido por el proyecto SABA en los 16 años que viene funcionando, en este

[1] Para obtener estos datos se verificó el estado de todos los componentes del sistema, como son la captación, línea de conducción, reservorio, red de distribución, piletas domiciliarias, así como el estado de los baños o letrinas sanitarias.

sentido, fueron importantes los informes internos elaborados por los asesores SABA, en el desarrollo de sus labores y que constituyen un insumo importante en esta sistematización.

Este documento está organizado en cinco partes, luego de esta introducción, en la segunda parte se describe las tecnologías para el abastecimiento de agua. En la tercera parte se hace lo propio con las tecnologías adecuadas a la eliminación sanitaria de excretas, en una cuarta parte se analiza las tecnologías complementarias para el uso de agua y saneamiento, como el sistema solar de calentamiento de agua por goteo, para mejorar los hábitos de aseo en escuelas rurales. Finalmente, a manera de cierre presentamos las recomendaciones y conclusiones, así como la bibliografía consultada en torno al tema.

Como es de rigor, todos los errores u omisiones son de nuestra entera responsabilidad.

2. Tecnologías para el Abastecimiento en Sistemas de Agua Potable

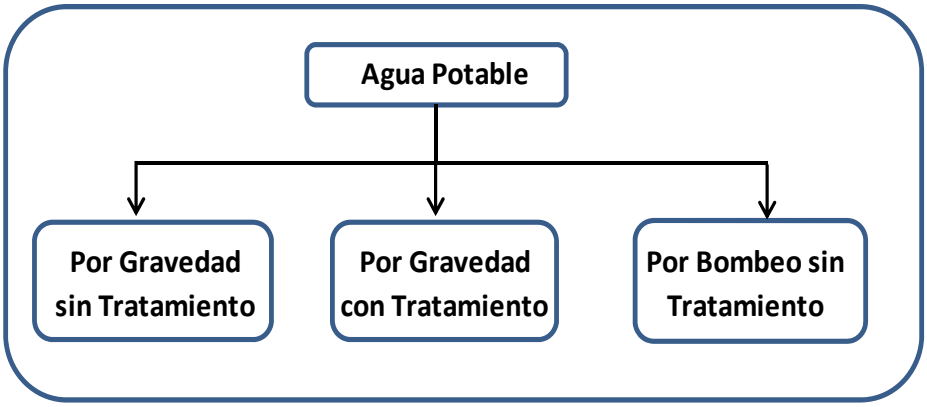
El sector rural, es un área conformado por centros poblados de diferente densidad poblacional, altitud y superficie. Los estudios que analizan este sector dan cuenta de diferencias significativas entre los centros poblados con menos de 200 personas y aquellos más concentrados cuya población fluctúa entre 201-2000 habitantes. Estas diferencias se hacen evidentes en los niveles de pobreza, el acceso a servicios públicos y el desarrollo económico, determinando que las poblaciones rurales menos pobladas sean las que registren mayores desventajas que aquellos que tienen poblaciones más concentradas.

2.1. Tecnologías para el abastecimiento de agua en centros poblados concentrados

Un sistema de agua potable, está constituido por obras de ingeniería que mediante tuberías interconectadas, y algunas estructuras complementarias permite llevar el agua potable a los hogares del sector rural. Se puede obtener agua potable de diferentes formas, lo cual depende de las fuentes de abastecimiento como son: a) Agua proveniente de manantiales naturales, donde al agua subterránea aflora a la superficie, b) Agua Subterránea, captada a través de pozos o galerías filtrantes , c) Agua superficial, proveniente de ríos, arroyos o lagos naturales.

Los sistemas rurales de saneamiento ambiental básico, más representativos en la sierra sur y ceja de selva se pueden agrupar de la siguiente manera: a) Sistemas de Agua Potable por Gravedad sin Tratamiento, b) Sistemas de Agua Potable por Gravedad con Tratamiento, y c) Sistemas de Agua Potable por Bombeo sin Tratamiento.

Gráfico 1. Tipo de Sistemas de Agua Potable



Fuente: Proyecto SABA

2.1.1. Sistemas de Agua Potable por Gravedad sin Tratamiento

Este tipo de sistemas se caracterizan porque aprovecha las presiones generadas por la diferencia de niveles que hay en el terreno, desde la captación hasta el reservorio y la red de distribución, pero que no necesita una planta de tratamiento. La energía utilizada para el desplazamiento es la energía potencial que tiene el agua en virtud de su altura. La fuente de agua para el abastecimiento es subterránea[2].

Por lo general, la fuente de abastecimiento de agua es de buena calidad y no requiere tratamiento complementario previo a su distribución; adicionalmente, no requieren ningún tipo de bombeo para que el agua llegue hasta los usuarios[3].

Componentes del Sistema de Agua Potable por Gravedad sin Tratamiento

Los componentes principales para este tipo de sistema son los siguientes:

- **Captación de manante**. Es la estructura construida para captar las aguas que afloran en el manante.

- **Línea de conducción**. Es la tubería que conduce el agua desde la captación hasta el reservorio.

- **Reservorio apoyado**. Es la estructura donde se almacena el agua captada y además sirve para la regulación del caudal, así como para el clorado del agua.

- **Red de distribución**. Es la red compuesta por tuberías que distribuyen el agua a los diferentes sectores de la población.

Además de estos componentes, los sistemas de agua potable por gravedad sin tratamiento, puede tener además los siguientes complementos, según sea el caso:

- **Cámara distribuidora de caudales**. Es la cámara que distribuye el agua a diferentes sistemas.

- **Cámara de reunión.** Es la Cámara que reúne el agua de diferentes captaciones.

- **Cámara rompe presiones en línea de conducción.** Es la cámara que eliminará la presión alta en la línea de conducción.

- **Válvulas de aire.** Son las válvulas instaladas en la línea de conducción y red de distribución para eliminar el aire acumulado en las tuberías.

---

[2] Esta parte representa un resumen del documento: "Guía de Mitigación en Agua y Saneamiento Rural". Pacheco, Herbert y Méndez, Roberto. 2011. COSUDE, Gobierno Regional del Cusco, CARE, SANBASUR.

[3] Revisar la siguiente página web: http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-3sas.htm#2.3_____Principales_sistemas_rurales_de_abastecimiento_de_agua

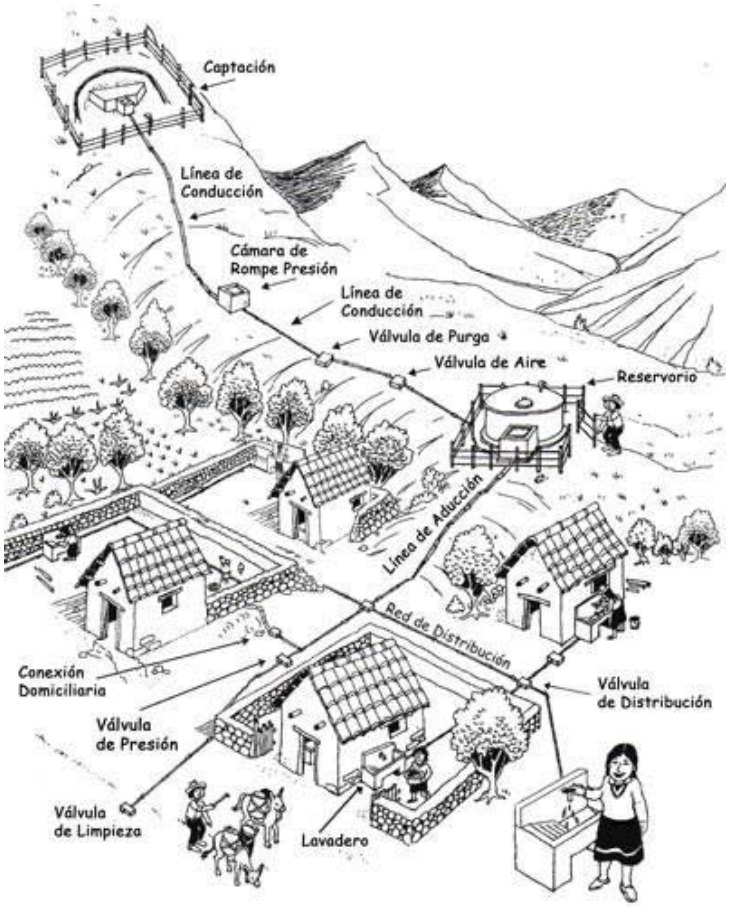
- **Válvulas de purga.** Son las válvulas instaladas en la línea de conducción y red de distribución para eliminar los sedimentos acumulados y poder realizar la limpieza del sistema.

- **Pases aéreos.** Es la estructura que permitirá salvar un obstáculo como una quebrada, un río o una vía.

- **Válvulas control.** Son las válvulas instaladas en la red de distribución para controlar el paso del agua hacia determinados sectores.
  Es necesario evitar la inclusión de cámaras rompepresión en la red de distribución debido a su alto grado de vulnerabilidad y por la corta vida útil de la válvula flotadora.

- **Instalaciones domiciliarias**. Son instalaciones realizadas en las viviendas para el consumo de agua.

Gráfico 2. Sistema de agua potable en zona rural



Fuente: http://www.bvsde.ops-oms.org/

Ventajas del uso de los sistemas de agua potable por gravedad sin tratamiento:

- Bajo costo de inversión, operación y mantenimiento.
- Requerimientos de operación y mantenimiento reducidos.
- No requiere operador especializado.
- Baja o nula contaminación.

2.1.2. Sistemas de Agua Potable por Gravedad con Tratamiento

Este sistema se caracteriza porque aprovecha~~s~~ las presiones generadas por la diferencia de niveles desde la captación hasta el reservorio y la red de distribución, pero que sin embargo necesita una planta de tratamiento, ya que utiliza una fuente de agua superficial (río, acequia).

En este caso las aguas requieren ser clarificadas y desinfectadas antes de su distribución y consumo. Cuando no hay necesidad de bombear el agua, los sistemas se denominan "por gravedad con tratamiento". Las plantas de tratamiento de agua deben ser diseñadas en función de la calidad física, química y bacteriológica del agua cruda (OPS-OMS, 2003).

Estos sistemas tienen una operación más compleja que los denominados sistemas sin tratamiento, y requieren mantenimiento periódico para garantizar la buena calidad del agua. Al instalar sistemas con tratamiento, es necesario crear las capacidades locales para operación y mantenimiento, garantizando el resultado esperado.

Componentes del Sistema de Agua Potable por Gravedad con Tratamiento

Los componentes principales para este tipo de sistema son los siguientes:

- **Captación superficial**. Es la estructura construida para captar las aguas de un río, riachuelo o un canal.

- **Desarenador**. Es la estructura construida para eliminar las arenas arrastradas por el riachuelo o canal.

- **Línea de conducción**. Es la tubería que conduce el agua desde la captación superficial a la planta de tratamiento y luego al reservorio.

- **Planta de tratamiento**. Es el lugar donde se realiza el tratamiento del agua superficial hasta dejarla apta para el consumo humano, mediante procesos físicos y biológicos.

- **Reservorio apoyado**. Es la estructura donde se almacena el agua tratada que viene de la planta de tratamiento y además sirve de regulación del caudal, así como para el clorado del agua.

- **Red de distribución**. Es la red compuesta por tuberías que distribuyen el agua a los diferentes sectores de la población. Dentro de la planta de tratamiento se tiene los siguientes componentes.

- **Sedimentador**. Es la estructura construida para eliminar los sedimentos menores de las arenas.

- **Prefiltros**. Es la estructura construida para disminuir la turbidez del agua superficial. Su tratamiento es en base a grava graduada, estos pre filtros pueden ser de flujo horizontal o flujo vertical.

- **Filtros Lentos**. Es la estructura construida para eliminar los agentes patógenos a través de filtros de arena graduada.

Este sistema también puede tener los siguientes componentes complementarios:

- Cámara distribuidora de caudales.
- Cámara rompepresiones en línea de conducción.
- Válvulas de aire.
- Válvulas de purga.
- Pases aéreos.
- Válvulas de control.
- Conexiones domiciliarias.

Ventajas en relación a los otros sistemas

Esta tecnología no muestra ventaja alguna en relación a los otros sistemas más bien hay una serie de desventajas que se deben de tener en cuenta.

Desventajas en relación a los otros sistemas

- Requiere de personal capacitado para operar y mantener la planta de tratamiento.
- Requiere de mayor costo de inversión, de operación y mantenimiento en comparación a los sistemas de bombeo sin tratamiento.

2.1.3. Sistemas de Agua Potable por Bombeo sin Tratamiento

Este tipo de sistemas se caracteriza porque necesita elevar el agua hasta un punto alto (reservorio) a través de una bomba, ya que la fuente de agua se encuentra en niveles bajos y no se lograría tener las presiones necesarias para un buen funcionamiento hidráulico de la red de distribución; no necesita una planta de tratamiento, por utilizarse agua subterránea.

Componentes del Sistema de Agua Potable por Bombeo sin Tratamiento
Los componentes para este tipo de sistemas son los siguientes:

- **Captación**. Es la estructura construida para captar las aguas que afloran de una fuente subterránea

- **Tanque Cisterna**. Es la estructura construida para recepcionar las aguas captadas y de donde se bombeará hacia el reservorio. En algunos casos para pozos profundos tubulares se puede prescindir de la cisterna.

- **Caseta de bombeo**. Es la caseta construida donde se instala el equipo electro-mecánico que impulsará el agua del tanque al reservorio.

- **Línea de Impulsión**. Es la tubería que conduce el agua desde el tanque cisterna o pozo tubular hasta el reservorio.

- **Reservorio apoyado**. Es la estructura donde se almacena el agua captada y además sirve de regulación del caudal y presiones de servicio.

- **Red de distribución**. Es la red compuesta por tuberías que distribuyen el agua a los diferentes sectores de la población.

De acuerdo a la opción tecnológica, también puede tener los siguientes componentes:

- Válvulas de aire
- Válvulas de purga
- Pases aéreos
- Válvulas de control
- Conexiones domiciliarias

La principal desventaja en este tipo de sistema, es que las tarifas por el servicio son más altas en comparación con otros sistemas de abastecimiento de agua. Algunas veces el servicio es restringido por algunas horas del día para evitar la elevación de la tarifa.

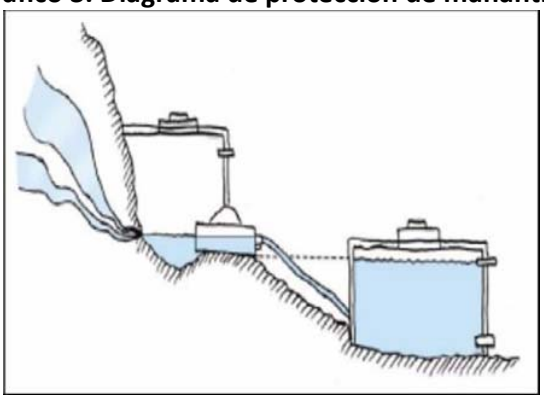
2.2. Tecnologías para el abastecimiento de agua en centros poblados dispersos

2.2.1. Captación de aguas subterráneas: protección y captación de manantiales

2.2.1.1. <u>Protección de Manantial</u>

Esta tecnología es aplicada en la instalaciones del servicio a varias familias, las mismas que dependiendo de la ubicación de la fuente en relación a las viviendas podrán hacer uso del recurso mediante conexiones domiciliarias o acudiendo a la fuente de abastecimiento. Esta tecnología se usa para eliminar las posibilidades de contaminación del agua entre su afloramiento y utilización, además de mejorar las condiciones de producción de agua en cantidad y calidad, sin embargo, también se ve la posibilidad de mejorar la captación y almacenamiento, optimizar las condiciones de uso y manejo, así como reducir la contaminación por el uso (sin desperdicio), para que la misma agua pueda ser reaprovechada aguas abajo.

Gráfico 3. Diagrama de protección de manantial



Tomado: Tecnologías Apropiadas para Poblaciones Rurales Dispersas. COSUDE, PROPILAS-CAREPERU. Beatriz Alvarado.

Características y especificaciones técnicas

Este tipo de tecnologías se puede aplicar en comunidades que tengan las siguientes características:

- Lugares con pequeños manantiales de uso familiar o multifamiliar, cuyo caudal no es suficiente para abastecer a toda la comunidad.

- Disponibilidad de agua en la fuente para una dotación no menor a 20 litros / persona / día. Según recomendaciones de la OMS.

- Propiedades en cuyo perímetro, se encuentran manantiales que por costumbre comparten su uso con otras familias.

- La instalación de conexiones domiciliarias sólo es posible si es que cumple con las siguientes condiciones: a) que el manantial se encuentre ubicado por encima de las viviendas a ser abastecidas, b) cuente con el caudal suficiente y c) se disponga de una altura mínima que garantice presión en la salida de las instalaciones domiciliarias, caso contrario las familias deberán acarrear el agua hasta sus hogares.

- Evitar la construcción de letrinas aguas arriba del manantial a una distancia no menor a 50 metros.

Características de la Tecnología

El mejoramiento y protección de los manantiales consiste básicamente en las siguientes prácticas:

- Limpieza del lugar de nacimiento y áreas aledañas hasta la completa exposición de todos los puntos de afloramiento del agua. En el caso de haber material suelto se debe excavar hasta encontrar material impermeable.

- Construcción de la estructura que aísla la fuente del ambiente externo que la contamina.

- Construcción o adaptación de la estructura de almacenamiento, que permita acumular agua para su posterior uso.

- Construcción de estructuras complementarias para el aprovechamiento de aguas excedentes para otros usos.

- Opcionalmente instalación de pequeñas redes de distribución con conexiones domiciliarias, siempre que sea posible esta sería la mejor decisión de abastecimiento.

Las fuentes ubicadas en grietas de rocas, suelen ser fuentes con muy buena calidad de agua. Debido a la ubicación bien definida del nacimiento, generalmente es fácil y barato mejorar la captación y protección de este tipo de fuentes; muchas veces se forma una poza natural entre las rocas, la cual puede ser aprovechada como parte de la estructura de protección.

Opciones técnicas que pueden ser elegidas:

Opción 01: Mejoramiento y protección de manantial de ladera y un bebedero para los animales, de uso para una o varias viviendas.

Opción 02: Mejoramiento y protección de manantial de fondo y un bebedero para animales.

Materiales y Costos

La tecnología para la protección de fuentes es considerada una de las más baratas para ser aplicadas en el sector rural ya que los materiales pueden ser conseguidos en la zona y la mano de obra aportada por los miembros de la comunidad. Básicamente de lo que se trata es de asegurar la calidad del efluente y su continuidad posterior, protegiéndola con estructuras que evitaran posibles contaminantes externos.

Los costos que están inmersos en la protección de fuentes incluyen dentro de si diversos aspectos como aquellos relacionados con el tipo de fuente, tamaño, ubicación, características del lugar etc. Es por ello que se deberá hacer un estudio previo que permita la elección de la estructura más adecuada.

1. Costo total de la tecnología	US$
Bebedero	250.0
Total Captación de ladera más Bebedero	2,185.7
Total Captación de Fondo más bebedero	2,423.8

Ventajas de esta Tecnología:

- La construcción suele ser fácil y sencilla.
- El mantenimiento es sencillo y de bajo costo, si se brinda una adecuada capacitación.
- No requiere de gran inversión ya que algunos materiales pueden ser de la misma zona y la mano de obra es de la comunidad.
- El agua es de buena calidad y la técnica es simple.
- Permite asegurar la calidad del agua para consumo humano, separado del agua para consumo de animales.

2.2.1.2. Captación de Manantiales por Galería Filtrante con Almacenamiento en Cisterna Superficial de 5000 litros

Este sistema es utilizado en zonas donde los manantes (puquiales) tienen caudales mínimos, complementándose con la cisterna de almacenamiento de 5000 litros, este sistema puede beneficiar aproximadamente a 50 familias dispersas.
Se forman organizaciones comunales que gestionan el agua, con la finalidad de almacenar en las noches y distribuir en el día la poca cantidad del recurso.

Se realiza la limpieza, excavación y ensanchamiento del manante a 1.50 m de profundidad o más, se instala un pequeño tanque con capacidad de 150 litros en el fondo del pozo juntamente con las tuberías de captación (filtro) y las tuberías de salida, se sella el pozo con piedras pequeñas, hormigón y tierra, apisonándolo; finalmente se instalan las tuberías que transportaran el agua hasta el lugar que se desea, pudiendo ser una pileta pública o domicilio. Dependiendo del caudal del manantial se puede instalar 2 ó 3 tanques juntas, con tuberías de ½", 1", 11/2". El sistema se complementa con un grifo y lavamanos casero.

Características y Especificaciones Técnicas

La topografía del manante tiene que estar ubicado en la parte superior de las viviendas para aprovechar la pendiente.

En el caso que existan varios manantes de poco caudal, se realiza una captación en forma de ramales mediante galerías. La tecnología se caracteriza por ser fácil de construir y de Aprovechar la ubicación del manantial para abastecer de agua a las viviendas que se encuentran en niveles más bajos, teniendo como objetivo lo siguiente:

- Evitar las enfermedades por contaminación del agua.
- Abastecimiento de agua permanente en forma individual o colectiva.
- Solución al problema de acarreo de agua de zonas alejadas.

1. Costo total de la tecnología	US$
Total Costo Captación	40.0
Total Cisterna Superficial con tecnologías Apropiadas	350.0
Total Mano de Obra no calificada (Comunidad)	38.0
Total Aporte de Material	59.0
Total	**487.0**

Ventajas de esta Tecnología:

- Cómodo y fácil instalar.
- Provee agua permanente y limpia.
- Es de bajo costo y no requiere mucho material.
- Adecuado para zonas geográficamente accidentadas, donde la napa freática es adecuada y en zonas donde existan manantiales.

2.2.1.3Captación de Manantial por Bombeo

La captación de manantial por bombeo se utiliza en zonas donde se evidencia o se tiene la certeza de la existencia de agua subterránea, para lo cual se realiza la excavación de pozos hasta encontrar agua (2.00 m a 8.00 m de profundidad).

Este sistema es recomendable para uso intrafamiliar que beneficia a un solo usuario o como máximo 2 usuarios (de la misma familia), con la finalidad de garantizar el cuidado y mantenimiento y por tanto su duración.

El sistema consiste en realizar una excavación del pozo (hasta 8.00m de profundidad), limpieza, para ello se instala un tanque de ferro cemento con huecos de 150 litros en el fondo del pozo, juntamente con las tuberías de la bomba manual, se sella el pozo con piedras pequeñas, hormigón y tierra apisonada, finalmente se fija la bomba con un brocal de piedra y barro o con una llanta usada.

La bomba expulsa el agua con una presión de hasta 5 bar y eleva el agua hasta 30m de altura, por lo tanto es posible llevar el agua a una vivienda que se encuentre por encima del manantial, para esto utilizamos una cámara de aire de presión con botellas descartables de 2 litros y una válvula check.Dependiendo del caudal del manantial se puede instalar 2 ó 3 tanques juntos con sus respectivas bombas.

Características y Especificaciones Técnicas

Generalmente se instalan en zonas donde existe agua subterránea (uno de los indicios para este fin es que en la zona exista pasto verde, mojadales superficiales, topografía plana, existencia de manantes en zonas de la ladera).La tecnología se caracteriza por ser fácil de construir y de aprovechar la ubicación del manantial para abastecer de agua a las viviendas que se encuentran por encima del manantial:

1. Costo total de la tecnología	US$.
Costo Total	**US$ 95.9**

Ventajas de esta Tecnología:

- Es posible de ser construida por la misma familia.
- Cómodo y fácil de bombear.
- Provee agua permanente y limpia.
- Es de bajo costo y no requiere mucho material.
- Adecuado para todo tipo de zonas (costa, sierra, selva).

2.2.1.4 Captación de Pozos Perforados (Surgente)

La captación de pozos perforados con bombeo se utiliza en zonas donde se evidencia la existencia de agua subterránea profunda, para lo cual se realiza la prospección perforando hasta encontrar agua (de 10 a 20m. o más de profundidad).

Este sistema es recomendable para uso intrafamiliar, que beneficie de preferencia a un solo usuario o a varios usuarios a través de piletas, con las recomendaciones para el cuidado y mantenimiento del agua.

Se realiza la perforación de prospección geológica por debajo del acuífero hasta encontrar indicios de agua; con el equipo de perforación manual que está conformado por tubos de ¾” de Aº Gº (barrenos) y una broca casera fabricado con fierro de ½”. En este caso la perforación puede ser de 20m o más de profundidad. Luego en el pozo perforado con presencia de agua, se instala tuberías PVC de 11/2” forrados en un extremo con telas de poliéster sujetándolos con hilo o cinta adhesiva. Finalmente se fija la bomba con un brocal de piedra y barro o con una llanta usada. Puede servir como pileta pública o se instala a domicilios mediante tuberías de ½” enterradas en el suelo a un tanque elevado de 150 litros y de esta al lavadero con grifo o pileta domiciliaria.

Características y Especificaciones Técnicas

Generalmente se instalan en zonas donde existe agua subterránea, la topografía del terreno debe ser plana y con estructuras sedimentarias, planicie o altiplanos (uno de los indicios para este fin es que en la zona exista pasto verde, mojadales superficiales, topografía plana). Las comunidades del altiplano con estas características se encuentran entre los 3500msnm a 4000msnm.La perforación e instalación del pozo requiere de un personal capacitado. La función específica de este sistema es la extracción del agua que se encuentran a muchos metros por debajo del suelo, cumple las siguientes funciones:

- Abastecimiento de agua permanente en forma individual o colectiva.
- Protege la contaminación del agua.
- Soluciona el problema en zonas de escasez.
- De acuerdo a la presión, el agua puede fluir sin otro accesorio.

1. Costo total de la tecnología	US$
Total Pozo de 20 m.	**US$ 381.5**

Ventajas de esta Tecnología:

- Soluciona el problema de agua potable.
- Provee de agua limpia y potable.
- Adecuado para zonas donde el nivel freático es profundo

2.2.1.5. Captación de aguas subterráneas: bombas manuales

a) Bomba Manual de Uso Familiar

La bomba manual de uso familiar está fabricada a partir de tubería plástica de PVC de Ø 1 ¼", clase 10. Esta bomba funciona por acción directa y tiene capacidad de succionar hasta 0,6 litros de agua por golpe desde una profundidad promedio de 40 m. Los elementos sometidos a desgaste están siendo evaluados para posteriormente ser normalizados de forma tal que puedan ser producidos comercialmente y distribuidos a pequeñas ferreterías facilitando el ensamble a nivel local.

Características y Especificaciones Técnicas

De diseño y construcción

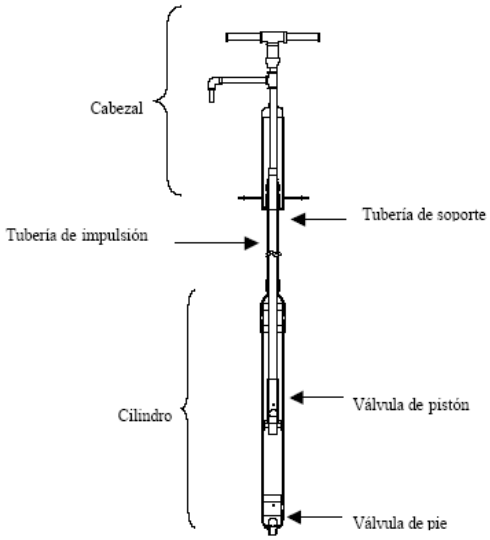
- Planos y especificaciones disponibles para su fabricación.
- Material anticorrosivo: PVC y polietileno de alta densidad.
- Construida con piezas de fácil montaje y desmontaje, disponibles en el mercado.
- Capaz de extraer un volumen mínimo de 0,6 litro/golpe.
- Bombea agua desde una profundidad de 40 metros.
- Gran durabilidad.

De operación

- De fácil operación, puede ser accionada por niños.
- Posee un surtidor que evita que el agua se disperse en la descarga.

De mantenimiento

- Fácil mantenimiento
- Requiere de pocas herramientas para su montaje y desmontaje



1. **Costo total de la tecnología**	**US$**
Total costo	**US$ 35**
Columna de Succión de US$ 1.25 por metro lineal	**US$ 1.25**

Ventajas de esta Tecnología:

- Cuenta con planos y especificaciones técnicas para su construcción.
- Los materiales básicos para su construcción pueden ser fácilmente obtenidos en el mercado local.
- Cuenta con repuestos confiables y de fácil obtención.
- Fácil operación.
- Muy poco mantenimiento.
- Muy durable.

b) Bomba de Soga

La bomba manual de soga es una tecnología apropiada de fácil operación y mantenimiento, alta eficiencia en pozos poco profundos, y además de bajo costo. Este tipo de bomba es de uso multifamiliar, es de fabricación local y no se le puede clasificar o comparar a los modelos anteriores; es decir, no es de acción reciprocánte, pero tiene un mecanismo o sistema de polea que actúa directamente sobre unos pistones plásticos o de hule en una dirección que conduce o eleva el agua por medio de un tubo de PVC que realiza la función de un cilindro, también llamado *bomba de mecate;* es de alto rendimiento dado que suministra 2 litros por segundo a una profundidad de 5 metros a 0,3 litros por segundo a una profundidad de 40 metros.

Características Técnicas y Especificaciones

Tapadera:
Forma parte del pozo, es una plancha de concreto reforzada con hierro de ¼", si el diámetro de la tapa es mayor de 1,2 m será reforzada con hierro de 3/8" de diámetro, en ella se emplaza el soporte de la bomba.

La rueda:
Forma parte de la estructura del soporte, el eje con la polea, la manivela y el sistema de bloqueo. La Rueda constituye la pieza más compleja puesto que, contiene todas las partes móviles y de mayor concentración de fuerza, puede construirse de madera o de metal.

El eje:
Es de un tubo de hierro galvanizado de ½" o de ¾", forma una sola pieza con la manivela a un extremo, gira en dos cojinetes partibles.

La soga:
Lleva los pistones, es de 3 a 6 mm de diámetro, independientemente del diámetro del tubo en subida y de la profundidad, es hecho de fibra de polietileno con tres ramales. Es la pieza de la bomba que más desgaste sufre.

El tubo de subida:
Es de PVC, son ensamblados con la campana hacia abajo para minimizar la fricción en los pistones que están fijados al mecate mediante un pedazo de ramal trenzado por el mecate y quemado en ambos extremos. La guía y piedra estabilizadora es colgada en el tubo de subida mediante una cuña de tubo de PVC de igual diámetro del tubo de descargue.

Tubería de descargue o salida: Es de PVC.

El pozo deberá de disponer de una **plataforma de concreto y un canal de drenaje**.

1. Costo Total de la tecnología	US$
Total	**US$ 125**

Ventajas de esta Tecnología:

- Fácil operación
- Buen caudal
- Fácil mantenimiento y reparación
- Bajo costo

c) Flexi–OPS

Esta bomba es de uso familiar y se compone de dos mangueras de polietileno (politubo o poliducto) y un agarrador. La de mayor diámetro (25 mm) forma el cilindro o línea de impulsión y la de menor diámetro (12 mm) simultáneamente es el elemento móvil (biela) y el tubo para la salida del agua. Su funcionamiento es parecido al de las bombas de pistón con la única diferencia que el agua se expulsa por la misma "biela". La parte visible de la bomba es la "Tee" del agarrador. Esta bomba de fabricación manual, es sencilla y de larga duración. Puede colocarse en pozos con diámetros pequeños como 38 mm.

Esta bomba fue también llamada bomba BOPS 2002 debido a una serie de modificaciones que se realizaron en el cabezal ya que el grifo movible causaba cierta incomodidad; sin embargo, el sistema se mantuvo en la mayor parte de su estructura, sólo se cambió el tipo de acción (palanca) en algunos casos y la fijación del grifo en otro. En las figuras siguientes se pueden observar los modelos de la BOPS 2002.

Características y Especificaciones Técnicas

Las características más sobresalientes que se pueden mencionar son las siguientes:

- La Tee está enroscada a un pedazo de tubería galvanizada de 80 cm, colocada a presión en la biela. Cada extremo de la Tee tiene un niple de 10 cm, uno de los extremos es sellado y la salida del agua por el otro.

- Al bajar la Tee se expulsa el agua de la línea de impulsión (cilindro); el agua pasa a la válvula de salida, sube por el tubo de la biela, entra en el pedazo de tubería galvanizada, pasa a la Tee y sale por el niple descubierto que hace de surtidor.

- La acción de bombeo en promedio puede extraer 0,4 litros de agua, para lograr también un promedio de 20 litros por minuto.
- El bombeo puede alcanzar a la salida, presiones de hasta 3 bars (2,9 kg/cm2; aproximadamente 29 m columna de agua); presión con la que es posible subir el agua hasta pequeños tanques elevados.

- Las válvulas o cilindro inferior de la bomba, se fabrican con tubería de PVC, con rosca, en 19 ó 12 mm con una bolita de cristal (canica) en su interior. Lográndose una mayor compresión al utilizar anillos de cuero o hule y en consecuencia mejor rendimiento.

Se recomienda hacer pozos de muestreo (2 ó 3) dependiendo de la zona, para identificar cantidad de agua, calidad (análisis físico químico), tipos de estratos.

Figura 16 Cabezal de palanca con surtidor fijo.

1. Costo Total de la tecnología	US$
Costo Total	US$ 50

Ventajas de esta Tecnología:

- De fabricación artesanal
- Fácil operación y mantenimiento
- Bajo costo

d) Bomba HEUSER-Puno

La bomba Heuser es una bomba manual Multifamiliar, de tipo convencional con mango de palanca, que se diseñó específicamente para su producción en pequeños talleres mecánicos locales. La bomba se fabrica en el departamento de Puno y tiene las siguientes características: está diseñada para profundidades de hasta 25 m pero se recomienda no pasar los 15 m; actualmente se usan con un desnivel de 9 m (entre la superficie del suelo y el espejo de agua), sus piezas son bastante sencillas, es por ello que el mantenimiento de la bomba y sus refacciones son cómodas y de fácil ubicación. La frecuencia del mantenimiento se recomienda cada 3 meses.

Características y Especificaciones Técnicas

Las características principales son las siguientes:

- Tipo aspirante de simple efecto y acción mecánica.
- Sistema reciprocante con pistón.
- Operación mediante palanca con ventaja mecánica de 4:1.
- Caudal mínimo de 0,4 litros por golpe.
- Profundidad de hasta 25 m.
- Vida útil de 20 años.
- Material anticorrosivo.

- Tubería de 6,4 m de longitud unidas con bridas.

Partes de la bomba Heuser:

- Cabezal: parte superior de la bomba donde se encuentra instalada la palanca con sus respectivos pasadores y bocinas. Al accionar la palanca pone en funcionamiento la bomba con lo cual se obtiene ele agua.
- El Cuerpo: es la parte de la bomba que se fija con tuercas a la plataforma del pozo. Está conformado por un tubo de conducción y la varilla. El tubo de conducción se encuentra anclado al cuerpo de la bomba y sostiene al cilindro, su función es conducir el agua del cilindro hacia el exterior.

El cilindro: es un tubo galvanizado impermeabilizado en su parte interna con material PVC de diámetro 2 veces respecto al tubo de conducción. En su interior se encuentra las válvulas de entrada y de elevación o émbolo.

1. Costo Total de la tecnología	**US$**
Costo Total (Dólares Americanos)	**US$ 110.0**

Ventajas de esta Tecnología

- De fabricación local.
- Costo accesible.
- Buen caudal.
- Fácil manejo
- Fácil operación y mantenimiento
- Resistencia y durabilidad
- Repuestos accesibles

e) Bomba de Tubo Balde

Esta bomba es de uso multifamiliar y es una modificación de la bomba de cubo o bucket de Zimbabwe con la incorporación de un cabezal especial que disminuye el riesgo de contaminación por contacto de la soga con el agua; la bomba de cubo a su vez es una versión perfeccionada de la bomba tradicional de un cubo atado a una cuerda instalada en una cabria, con la diferencia de que la bomba de cubo se puede instalar en un pozo de poco diámetro.

Características y especificaciones técnicas

La bomba bucket consiste en un cubo largo y delgado que fácilmente puede ser un tubo de 4" diámetro, con una válvula de retención en el fondo que permite que el agua entre en ella por la parte inferior cuando el cubo o tubo balde está sumergido dentro de pozo, pero que no permite que el agua salga cuando el cubo o tubo balde es izado hacia la superficie.

El propio peso del cubo lo hace sumergirse en el fondo al ser bajado al pozo y cuando está lleno es izado mediante una manivela a través de un tubo de mayor diámetro en la parte exterior del pozo para evitar el contacto del tubo balde con el medio ambiente, este tubo exterior tiene un surtidor conectado a una paleta en la parte interior del surtidor, que mediante contacto abre la válvula del tubo balde dejando salir el caudal a través de él. Esta bomba de tipo artesanal tiene buena aceptación por los usuarios debido a que casi en su totalidad puede ser fabricada localmente y por la facilidad de su operación y mantenimiento.

2. Costo Total de la tecnología	**US$**
Costo Total	**US$ 200.0**

Ventajas de esta Tecnología:

- Fácil operación
- Muy buen caudal
- Fácil mantenimiento
- Bajo costo

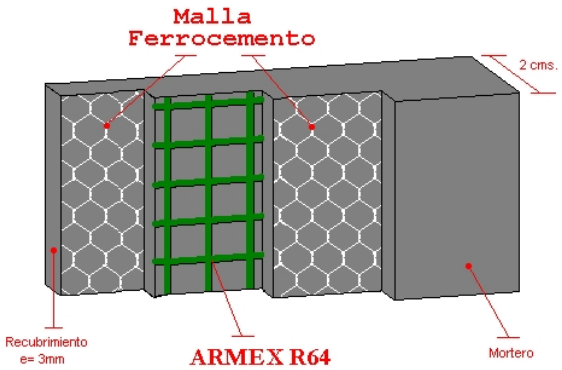
2.3. Innovaciones en las Tecnologías de Abastecimiento de Agua

2.3.1. El Ferrocemento Aplicado a Tanques de Almacenamiento

a) Características de la innovación

El ferrocemento es un tipo particular de hormigón armado formado por un mortero de arena y cemento hidráulico, reforzado con una armadura altamente subdividida (telas de mallas de alambres de acero de pequeño diámetro) y distribuida en la masa de mortero, que posee una alta resistencia, compacidad y elasticidad, ello permite disminuir de forma notable las dimensiones de las sección transversal de los elementos hasta 10-30 mm. Como resultado de ello el peso propio de las estructuras y el volumen de los materiales pueden reducirse en más de un 50% y el de la armadura hasta un 35% en comparación con las estructuras habituales de hormigón armado.

El Instituto americano del Concreto (ACI) Comité 549 define el ferrocemento como: *"Ferrocemento es un tipo de concreto armado de pared delgada reforzada dónde normalmente un cemento hidráulico se refuerza con las capas de malla del diámetro continua y relativamente pequeña. La malla puede hacerse de material metálico u otros materiales convenientes."*



b) Los materiales del Ferrocemento

El Cemento, debe obedecer las especificaciones ASTM C 150-85a, ASTM C 595-85, o una norma equivalente. El cemento debe estar fresco, de consistencia uniforme y libre de materia ajena. Debe guardarse bajo condiciones secas.

Los Agregados finos, es el agregado más común usado en el ferrocemento. Debe estar limpio, duro, fuerte, libre de las impurezas orgánicas y relativamente libre de limos y arcilla. Debe estar inerte con respecto a otros materiales usados. La arena debe ser graduada con una fineza que pase el 100% del cedazo normal Nº 8. Algunas recomendaciones deseables del agregado fino:

Cuadro 1. Tabla para el agregado fino

El tamaño del cedazo	El paso por ciento
No. 8	80-100
No. 16	50-85
No. 30	25-60
No. 50	10-30
No. 100	2-10

El agua, debe estar fresca y libre de cualquier solución orgánica y dañina para las propiedades del mortero. El agua salada no es aceptable pero el agua con cloro puede usarse.

Mortero de ferrocemento, Es la mezcla homogénea compuesta de cemento Pórtland, arena y agua, pudiendo eventualmente contener aditivos que mejoren sus cualidades. El peso específico de esta mezcla no debe ser menor de 1800 kg/cm^3. La relación agua/cemento en peso, máxima admitida es de 0.40 para arenas de grano redondeado y 0.50 para arenas de grano anguloso. Para las aplicaciones comunes de ferrocemento la relación arena/cemento en peso varían de 1.50 a 3.0.

Malla de refuerzo, Uno de los componentes esenciales del ferrocemento es la malla de alambre. Esta es de diferentes tipos y está disponible en varias presentaciones, consiste en alambres delgados, tejidos o soldados en una malla, pero el requisito principal es que debe manejarse fácilmente y ser bastante flexible al ser doblado alrededor de las esquinas. La función de la malla de alambre y refuerzo en un primer momento es proporcionar la forma y apoyar el mortero en su estado fresco. En el estado endurecido su función es absorber las tensiones tensoras en la estructura que el mortero sólo, no sería capaz de resistir y evitar el agrietamiento.

La conducta mecánica del ferrocemento es muy dependiente del tipo, cantidad, orientación y propiedades de la malla y refuerzo.

Acero de armazón, Está conformado por barras lisas o corrugadas que forman el esqueleto o armazón de la estructura de pequeño diámetro. El diámetro de las barras y alambres complementarios no debe ser mayor que ¼ del espesor de la pieza de ferrocemento, ni mayor de 10mm, así como no debe ocupar en su conjunto más de la mitad del espesor del elemento.

Diseño Estructural

El cálculo estructural está basado principalmente en el estudio de tensiones normales uniformes de esferas y cilindros sometidos a presión interior, en los cuales se producen tensiones normales en dos direcciones.

Se presenta un procedimiento de cálculo simplificado para tanques de pequeño volumen de 5 a 20 m^3, que corresponden a la mayoría de tanques que se construyen en las comunidades de la sierra. Algunas de las expresiones para el diseño son mostradas a continuación:

Espesores mínimos:

$$e = \frac{\gamma_w hr}{0.424\sqrt{f'_c}}$$

$$e_{piso} = 1.7453D$$

$$e_{techo} = 1.745D$$

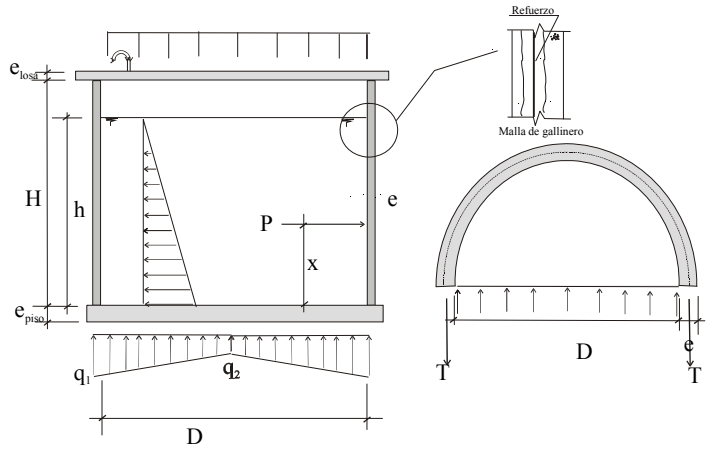
Refuerzo Longitudinal en pared

$$A_{si} = \frac{500 H_i D}{fy}$$

$$A_{smin} = \frac{14}{fy} b\, d$$

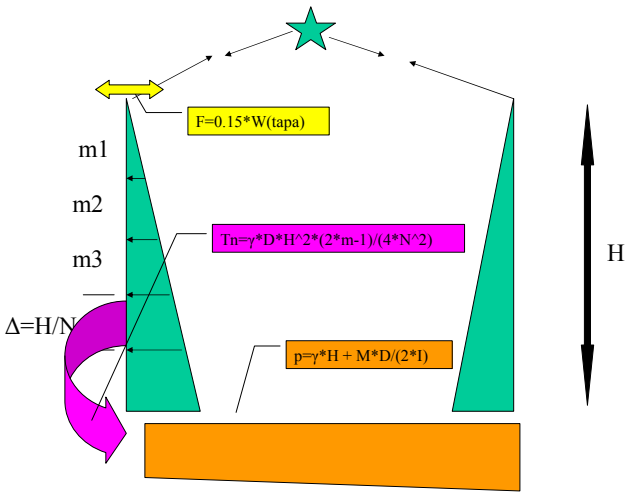
Donde:

e	espesor de la pared del tanque
e_{piso}	espesor de la losa de fondo
e_{techo}	espesor de la losa de techo
r_w	densidad del agua
h	altura del nivel máximo de agua
r	radio del reservorio
f'_c	resistencia a la compresión del mortero
D	diámetro del reservorio
A_{si}	Área de acero a una altura i
A_{si}	Área de acero mínima
H_i	altura a la que se desea calcular el refuerzo
fy	esfuerzo de fluencia del refuerzo
b	ancho de referencia
d	espesor



Para tanques mayores, no solo es necesario estudiar la distribución de tensiones, sino que se debe determinar la carga para la cual la membrana pandea debido a la diferencia de rigideces respecto a los ejes, lo cual puede producir un fallo por pandeo o inestabilidad. Ante este problema se recomienda rigidizar las paredes mediante un

número determinado de columnas, las mismas que evitan el pandeo de la membrana y además soportan las cargas de la losa de cubierta si esta es plana, este procedimiento especialmente para tanques muy grandes.Es importante determinar los esfuerzos y las solicitaciones de carga a las que estará sometido nuestro diseño.



Para el diseño con ferrocemento se deben tener presentes tres parámetros importantes que son usados para caracterizar el refuerzo, estos son:

El factor de volumen: El factor volumen Fv es la relación entre el volumen del refuerzo y del compuesto

Fv = Volumen de refuerzo / Volumen de la sección ferrocemento.
Fv = n. p_m .Area /r_m . h .Area = n . p_m / r_m. h

Dónde:
r_m = densidad del acero de la malla
n = número de capas de malla
p_m = peso de malla por unidad de superficie
h = espesor del ferrocemento.

En elementos de ferrocemento el factor de volumen varía usualmente entre 1.8% y 8%, teniendo en cuenta el acero en barras. El factor de volumen correspondiente a las mallas de acero será como mínimo de 0.30% en cada dirección analizada

Superficie específica: Se define como la relación del área superficial del refuerzo (área del acero en contacto con el acero) y el volumen del compuesto. Los valores de la superficie específica pueden variar entre 0.3 y 3 cm^{-1} no teniéndose en cuenta la correspondiente al acero en barras. Para telas de mallas de acero usuales se recomienda valores 0.50 y 2 cm^{-1}.

Módulo efectivo del refuerzo: El módulo de elasticidad de una tela de malla de acero no es necesariamente el mismo que el del alambre del cual será hecha. Cuando se ensayan en tracción, las mallas de alambre tejidas o torcidas, se estiran más que una

malla soldada hecha con igual alambre. Por este motivo se usa el término de módulo de elasticidad efectivo del sistema de refuerzo Er.

Valores de diseño para las telas de mallas más comunes se encuentran en la siguiente tabla:

Cuadro 2. Materiales

Características			Malla tejida cuadrada	Malla soldada cuadrada	Malla torcida hexagonal	Metal expandido	Barras longitud
Resistencia a la fluencia		Fy (kg/cm2)	4550	4550	3150	3150	4200
Mód. De elasticidad	Er long	Efl (10^3 kg/cm2)	1400	2030	1050	1400	2030
	Er transv.	Eft (103 kg/cm2)	1680	2030	700	700	----

Cuando se utilice acero en barras para cualquier estado intermedio de cargas habrá que tener en cuenta la diferencia del módulo de elasticidad de este con el de las mallas, estableciéndose un factor de equivalencia.

$$Fe = Ea / Em$$

Este factor multiplicará al refuerzo de malla o dividirá el del acero en barras según sea el caso.

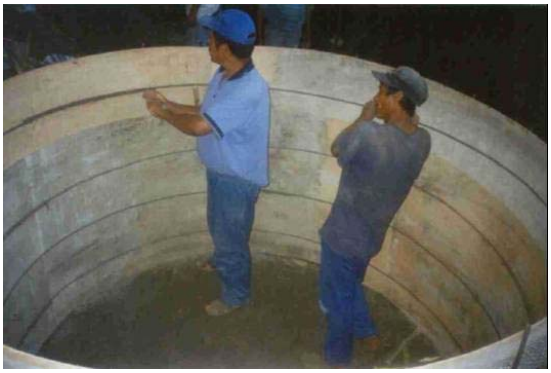
c)Proceso constructivo

Cimentación, Luego de seleccionar un lugar adecuado, de preferencia con una capacidad de carga admisible mayor a 1.50 kg/cm2, se procede a replantear el reservorio y excavar y vaciar la zanja de cimentación. Ubicar el punto de desagüe del tanque (sumidero). Sobre el suelo firme colocar un empedrado si el terreno no es muy recomendable o la estructura es muy grande, pudiendo prescindirse de este en reservorios pequeños o cuando el terreno sea confiable.

Replantear y colocar la malla y el acero de refuerzo de la losa de fondo. Proceder al vaciado dejando algunos bastones de amarre con la pared.

Empedrado y colocación de piso

Encofrado de Pared y techo, El encofrado es colocado solamente en una cara dependiendo por donde se desea empezar, interior y/o exterior del reservorio y podrá ser de cualquier material (madera, acero, planchas de triplay, calamina, etc.). Constructivamente también se podrá prescindir el encofrado para abaratar costos. Una vez pañeteadas las paredes estan deben endurecer y tener la debida resistencia para construir el techo, el cual puede ser plano o abovedado, dependiendo del diseño.



Estructura de madera para encofrado 1

Colocación de Refuerzo, Se coloca una primera capa de refuerzo consistente en una o más mallas hexagonales (malla de gallinero), debidamente tensada y en las zonas de empalmes observando un traslape adecuado, esta capa va en contacto directo con el encofrado. A continuación se coloca el refuerzo diseñado el que se une con la malla que sale de la base del tanque, a fin de lograr un empalme adecuado entre la armadura de piso y pared. Los refuerzos van amarrados con alambre Nº16, los traslapes deberán ubicarse en diferentes sitios a fin de no provocar zonas críticas que puedan causar fallas en la estructura.

Luego se procederá a colocar nuevamente una capa de malla de gallinero, observando las mismas indicaciones que para la primera capa, este refuerzo se coloca con el objeto de evitar las fisuras por retracción de fragua.

Armado de refuerzo con encofrado

Armado de refuerzo sin encofrado

Preparación y Colocación del Mortero, de acuerdo a las proporciones de diseño se procede a obtener un mortero de consistencia seca pero trabajable. El mortero se aplica a la cara exterior o interior del tanque debiendo la mezcla penetrar en todas las capas de refuerzo hasta el encofrado, debiendo quedar todo el refuerzo de acero y malla embebido de mortero, una vez seco este (puede ser el mismo día) se concluye con el revestido. Si es que se encofró y de acuerdo a la dimensión del tanque debe esperarse unas 48 horas ó menos para desencofrar y proceder al pañeteo del lado interno o externo dependiendo por donde se empezó. Se recomienda dar un acabado liso por el interior del tanque y de preferencia con impermeabilizante.

A continuación se ejecuta el acabado del piso observando una pendiente mínima de 1% hacia el desagüe, y ejecutando un chaflán en la junta piso-pared.

Luego de la prueba de estanqueidad se procede al encofrado, colocación de refuerzo y vaciado de la losa de techo con un mortero de similares características al utilizado en la pared.

Forjado inicial con encofrado

Pañeteo sin encofrado

Curado, Es importante mantener un curado constante en las paredes del tanque (siete días mínimo), pudiendo colocarse un aditivo sellador o manteniendo permanentemente húmedo el mortero, de ser posible se puede construir un techo provisional que proteja las paredes del sol y la lluvia durante el proceso constructivo.

Reservorio concluido

d) Costos del Ferro cemento

Una de las ventajas del uso del ferrocemento es el costo relativamente menor con respecto a los reservorios rectangulares de concreto armado convencional. Este ahorro es proporcional a la capacidad del reservorio cuanto más grande sea este mayor nivel de ahorro se obtendrá.

Cuadro 3. Costos por volumen

Descripción	Precios en Dólares Americanos ($)	
	Cº A º Convencional	Ferrocemento
Reservorio 5 m3	1,000.00	700.00
Reservorio 25 m3	2,800.00	1,900.00
Reservorio 50 m3	9,300.00	4,600.00
Reservorio 100 m3	16,800.00	6,800.00
Reservorio 150 m3	22,800.00	11,600.00
Reservorio 200m3	34,100.00	13,400.00

e) Resultados obtenidos por el uso de este material

- Es una tecnología de construcción simple, que no requiere mucha especialización en cuanto a mano de obra y la transferencia de la tecnología es sencilla, utilizando materiales conocidos en la zona y de fácil acceso.

- La construcción de reservorios de ferrocemento permite una optimización de costos tiempo y aporte comunal en materiales locales, especialmente el transporte de agregado y otros materiales. Otro aspecto relevante es que son estructuras livianas que evitan problemas de cimentación, fáciles de reparar y mantener.

- Con los materiales y la mano de obra disponible en la zona se puede alcanzar una calidad de mortero y acabado que garantice una correcta operación del reservorio.

- Es posible aplicar esta tecnología con éxito a otro tipo de estructuras tales como filtros, piletas domiciliaras, etc.

- Se espera en un futuro cercano una mayor aceptación de esta tecnología por parte de los usuarios y una mayor experiencia en la mano de obra calificada que reduzca los costos y permita mejorar los procesos constructivos.

- Se ha observado que no existió mucho interés por desarrollar esta tecnología por parte de algunas instituciones financieras, lo cual limita su difusión e implementación. De acuerdo a encuestas desarrolladas existe un porcentaje bajo de personal técnico (menos del 20%) familiarizado con esta tecnología.

- En los cursos de capacitación impartidos se notó bastante duda respecto al éxito y comportamiento de estos tanques en zonas de altura (mayores a 3,800 msnm) en condiciones de fríos severos, heladas, etc.

- No se tiene un reconocimiento legal ni ninguna normalización que sirva de soporte para la práctica de esta tecnología en el país.

f) Recomendaciones para el uso de la técnica

Agrietamiento y exudaciones observadas

En las primeras experiencias observadas en una evaluación preliminar en dos reservorios construidos en Cusco, se evidenciaron algunos defectos como afloramientos blanquecinos tipo exudaciones así como agrietamientos pequeños.

Estas exudaciones si bien no mostraron problemas de filtración de agua a nivel de apariencia crearon algunas dudas en cuanto a la durabilidad de los tanques. Realizadas las indagaciones del caso tanto en el agua como en los agregados utilizados se identificaron a estas exudaciones como carbonatos cristalizados, los cuales provienen del agregado, al no tener una adecuada impermeabilización interior, el agua se desplaza por el interior de las paredes delgadas y precipita la exudación del carbonato presente en el agregado, esta deficiencia también se pudo observar en algunos reservorios de concreto armado convencionales en la zona.

La solución a este problema es garantizar un adecuado acabado interior para impermeabilizar totalmente el reservorio y evitar cualquier exudación.

Otras deficiencias observadas son los agrietamientos los cuales pueden deberse a:

Grietas debido al trabajo estructural: Este tipo de grieta obedece a que las tensiones y zonas de tracción presentan fisuramientos por un mal diseño debido al trabajo estructural, se caracterizan por ser profundas y comprometen la capacidad de retención del agua.

Grietas por contracción de fragua: Se presentan debido a la pérdida de humedad durante el endurecimiento y secado del mortero, con una disminución de volumen que puede provocar grietas por contracción entre los efectos observados que favorecen la aparición de estas grietas se han evidenciado:

- La armadura es una restricción interna que evita la contracción pero cuando se presenta ésta provoca fisuramiento.
- A mayor relación agua/cemento más probable que se produzca mayor disminución de humedad.
- En reservorios en zona de selva donde la humedad es alta no se han observado muchas fisuras por contracción.
- A mayor cantidad de cemento en los morteros mayor contracción.

Se recomienda para disminuir la aparición de estas grietas trabajar preferentemente con mezclas secas y bien curadas. La bibliografía consultada recomienda la incorporación de refuerzo adicional y el uso de aditivos expansivos en el mortero para controlar también este fenómeno.

Grietas por variaciones térmicas: Estas grietas por lo general interactúan con las grietas de contracción, cerrándolas o abriéndolas con dilataciones y contracciones. Para estas grietas la armadura no es una restricción puesto que el mortero y el acero tienen el mismo coeficiente de dilatación.

Grietas por deficiencia de materiales o un mal proceso constructivo: Es importante cuidar la calidad de los materiales especialmente el acero de refuerzo si este se encuentra oxidado y para espesores de pared tan delgados el incremento del volumen del acero por oxidación puede ocasionar grietas, de igual manera se recomienda cuidar el proceso constructivo para evitar fisuramientos prematuros.

Podemos comentar algunas apreciaciones observadas en campo y encontradas en la revisión bibliográfica que puedan servir como referencia a futuras experiencias:

- Tanto las fisuras evidenciadas por contracción como por variaciones de temperatura no afectan el comportamiento estructural ni la capacidad de retención del agua en los reservorios.
- Si un reservorio presenta fisuras por contracción de fragua las variaciones térmicas raramente provocan más fisuras, se limitan a abrir o cerrar las existentes.
- La bibliografía consultada recomienda que las construcciones se realicen en invierno para que en verano no se produzcan nuevas fisuras, ocurre lo contrario cuando se construye en verano, esta última recomendación se está evaluando aún no podemos afirmar que así sea.

g) Lecciones aprendidas a partir del uso de este material

- Se requiere de mayor difusión (intercambios de experiencias, tanques demostrativos, etc.) entre las instituciones ligadas a la promoción del saneamiento como a la investigación (Universidades).

- La estandarización del diseño y los métodos constructivos permiten optimizar tiempos en la ejecución y en los estudios.

- Es importante una mayor incidencia en la dirección técnica (supervisores) para dar confianza a los ejecutores, cuando estos construyen por primera vez un tanque, por lo que de acuerdo a nuestra experiencia únicamente se construyeron tanques en las zonas donde se acompañó el proceso constructivo.

- Si desde las financieras no se promueve e incentiva la práctica con esta tecnología está será relegada a segundo plano, puesto que los técnicos, maestros de obra, etc. en su mayoría no quieren complicarse con cosas nuevas y prefieren seguir con la práctica de lo convencional.

- El buen aspecto de los tanques es importante para la aceptación de la comunidad, la cual una vez que el tanque se encuentra lleno y operando está conforme con este y se siente orgullosa por poseer tanques modernos.

- Se aplica el dicho “ver para creer” por lo que es necesario capacitar previamente al personal técnico encargado de la construcción

2.4. Cámaras Rompe Presión en PVC para Red de Distribución en Sistemas de Abastecimiento de Agua Rural

La sostenibilidad técnica de las obras de abastecimiento de agua depende en gran medida de la opción tecnológica planteada, en las evaluaciones realizadas a más de 100 sistemas de abastecimiento de agua se concluyó que técnicamente el punto más vulnerable y el que puede comprometer el normal funcionamiento de un sistema de abastecimiento de agua es la cámara rompepresiones con boya en red de distribución, puesto que estas boyas tienen una vida útil muy corta, deterioro prematuro, presentando muchas deficiencias en su funcionamiento y cierre automático, comprometiendo el normal almacenamiento del agua en el reservorio ocasionando problemas de abastecimiento en el reservorio por pérdida de agua en la rompepresión por rebose.

Ante esta problemática se realizó un trabajo de investigación para reemplazar este flotador comercial por uno de mayor eficiencia y durabilidad, pudiendo inclusive reemplazarse la rompepresión convencional por una estructura mucha más versátil de menores dimensiones y más económica a ser considerada como un accesorio dentro del sistema de distribución.

a) Antecedentes de la innovación

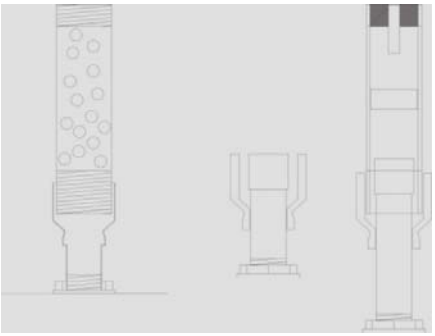
Comercialmente existen válvulas reductoras de presión industrializadas las cuales tienen un costo muy elevado y obedecen a tecnologías que probablemente no tengan éxito en el medio rural por la dificultad de su operación y mantenimiento por parte del usuario, debiendo recurrirse a soluciones más económicas, innovadoras, y de fácil acceso y operación para la población rural.

b) Características de la innovación

Debido a los problemas originados por las rompepresiones con boya convencionales se investigó un mecanismo de cierre que sustituya al existente con una mayor vida útil, una mejor eficiencia y un manejo más sencillo. Es así que el planteamiento experimentado trabaja con una boya cilíndrica en PVC con un principio de funcionamiento simple, el de flotación, basado en la teoría de empujes con un desplazamiento únicamente vertical el cual facilita todo el proceso y conduce a una buena eficiencia y un funcionamiento de cierre automático preciso.

c) Criterios Considerados en el Diseño

- Mejor eficiencia de cierre en la boya.
- Continuidad de flujo y caudal de consumo necesario para el abastecimiento sin inconvenientes.
- Utilización de materiales locales.
- Presiones de diseño en el rango 50 – 70 metros en columna de agua.
- Diseño con el caudal máximo de la demanda horaria (Q_{mh}).
- Caudales de diseño en el rango 0.1 lt/seg - 5 lt/seg.
- Velocidades de flujo no mayores a 5 m/seg.



Detalle válvula de ingreso

A partir de estos criterios se propuso que el agua ingrese por un orificio de menor diámetro a la tubería de salida, que por el principio de presión (fuerza entre área) es factible de ser cerrado (equilibrado) por una boya artesanal. Simplificando nuestro problema a la determinación de las presiones en los siguientes puntos de esta manera:

1. Presión de entrada del agua (con un orificio menor que el diámetro de la tubería de ingreso) a nuestra rompepresión.

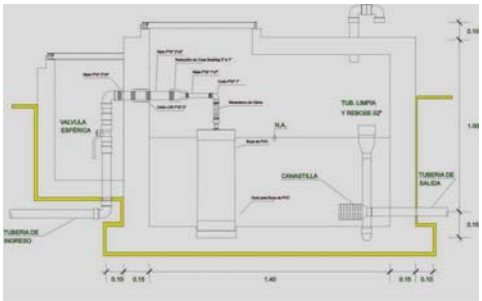
2. Presión necesaria para vencer la fuerza de ingreso, la que es proporcionada por la boya de PVC, la que debe ser mayor a la presión de ingreso para cerrar la entrada de agua, una vez llena la cámara húmeda.

d) Modelos de la Innovación Validados

Se han desarrollado tres modelos experimentales:

Modelo Nº 01: Este modelo obedece a la necesidad de solucionar el problema de mal funcionamiento de las cámaras rompepresión convencionales existentes en muchos sistemas de agua, para lo cual en este planteamiento se reemplaza la boya convencional (similar al del inodoro de

casa donde la fuerza necesaria para el cierre es producida por un flotador esférico que realiza un brazo de palanca y el momento producido es responsable del cierre) por una boya de desplazamiento vertical que consta de una válvula que permite el ingreso del agua y a la vez permite el desplazamiento vertical del eje que soporta a la boya de PVC con un ingreso del agua del tipo aspersor. En este modelo es importante adicionar un dispositivo tipo anillo que evite el movimiento basculante del flotador vertical para mejorar la eficiencia, esto también puede solucionarse construyendo un anillo en bajo relieve en la losa de fondo existente a manera de guía.



Flotador en CRP existente

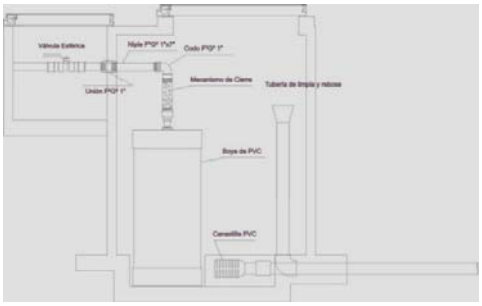
Modelo Nº 02: Este modelo a partir del diseño del flotador anterior es apropiado para ser instalado en la red de distribución para sistemas nuevos en los cuales exista un número pequeño de familias (1 a 3 fam.) a desniveles que excedan la resistencia por presión de la tubería de distribución y que el plantear una rompepresión convencional resulte muy costoso.

La rompepresión propuesta para este caso puede ser incorporada a una tubería de mayor diámetro a manera de fuste y todo el conjunto puede ser instalado como un accesorio más dentro de la red sin mayores trabajos previos y a un costo bajo.

Este modelo tiene como limitante que el caudal de diseño debe ser pequeño, es decir el número de familias servidas no más de 3, porque de acuerdo a la experiencia de campo si se tiene un caudal mayor el flotador trabaja tipo pistón como resorte con movimientos de subida y bajada muy violentos que causarían fatiga a nuestra rompepresión, pero para caudales pequeños el funcionamiento es eficiente.

Modelo Nº 03: Debido a la limitante del modelo anterior para consumos y/o caudales mayores en la red de distribución es que se tiene que considerar un pequeño volumen de almacenamiento en la cámara húmeda en la cual se encuentra nuestra boya, para que el movimiento vertical de la boya no sea violento y pueda abastecer el caudal necesario sin mayores problemas.

Para conseguir este funcionamiento se ha diseñado una válvula provista de su flotador vertical el cual se encuentra en una estructura circular de ferrocemento (mortero con malla de gallinero de pequeño espesor 3 cm de forma circular) con dimensiones y costo menor a las cámaras rompepresiones convencionales, con lo cual se optimiza y se mejora al sistema tradicional con un funcionamiento más eficiente y una vida útil mayor.



Flotador en cámara húmeda con ferrocemento (circular)

e) Análisis de la Innovación

Análisis estático, este análisis en el cual el fluido se encuentra sin movimiento considera como presión máxima a ser controlada la existente entre la cota de ubicación de la rompepresión y de la siguiente estructura aguas arriba (reservorio, otra rompepresión, etc.). La presión en este análisis es la más crítica puesto que no se consideran pérdidas de carga en la tubería por estar el agua detenida.

Hidráulicamente tenemos que el ingreso efectivo del agua se realiza por un orificio más pequeño que es de ø 3/8”. Realizamos el equilibrio de fuerzas en este punto, para determinar si teóricamente podremos vencer la fuerza de ingreso del agua, con la boya que usamos. Consideramos como presión de llegada una altura de carga en agua de 70 metros en columna de agua (la recomendación es que la presión de trabajo no exceda los 50 metros en columna de agua, sin embargo en campo se han identificado presiones de trabajo que exceden este valor por lo cual se trabaja con esta presión crítica).

Se tiene por equivalencias y haciendo conversiones que:
1 kg/cm^2 = 10 m de columna de agua

Por consiguiente nuestra presión de trabajo es: 7 kg/cm^2

Para equilibrar esta presión convertimos a kg-fuerza el valor anterior considerando el diámetro por el que ingresa al dispositivo (3/8”).

El orificio efectivo de ingreso tiene un diámetro de: 3/8” ó 3/8”x 2.54cm = 0.952 cm

Área del orificio de ingreso = л x (0.952 x 0.952) / 4 = 0.7125 cm^2

Sabemos que: $P = F / A$
Donde: P = Presión
F = Fuerza.
A = Área

Reemplazando la presión de trabajo y el área del orificio de entrada tenemos:

$7\ kg/cm^2 = F / 0.7125\ cm^2$
F = 4.988 Kg (Fuerza que actúa en el orificio de ingreso)

La fuerza anteriormente determinada es la que tiene que ser "equilibrada" por la boya de PVC, así que determinaremos el empuje que experimenta dicha boya debido al desplazamiento del agua.

El volumen de agua desplazado, es la fuerza con la que contamos para contrarrestar, la fuerza de ingreso del agua a nuestro dispositivo de flotación.

La boya tiene las siguientes características:

Diámetro interno = 8" (pulgadas).
Altura total = 50 cm.
Peso total = 2.5 kg
Material = PVC SAL (retazo de tubería con tapones).

Volumen de la boya en PVC (ø 8") = $(\pi * D^2) / 4$ * Altura boya sumergida
Volumen = $(\pi * 20.32\ cm * 20.32\ cm) / 4 * 50\ cm$
Volumen = $16{,}214.64\ cm^3$

Una vez determinado el volumen de agua desplazado, la fuerza de empuje se determina fácilmente empleando la densidad o peso específico del agua que es 1 tn $/m^3$ o lo que es igual a 1 litro de agua pesa 1 Kg.

Con lo que 16,214.64 cm3 de agua desplazada nos dan un empuje de 16.214 Kg de fuerza.

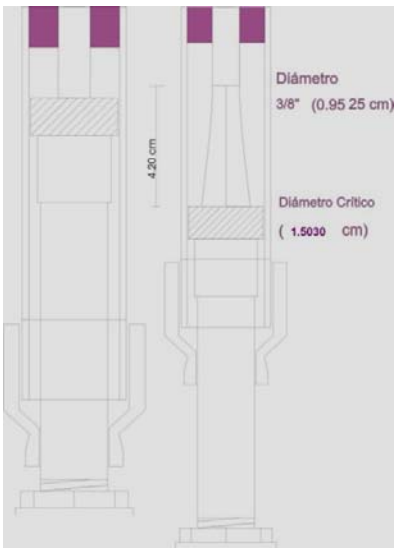
El empuje neto proporcionado por la boya será:

Vol. (kg) = Vol. por empuje - W (peso de la boya)
= 16.214 kg - 2.5 kg
E_{neto} = 13.714 kg.

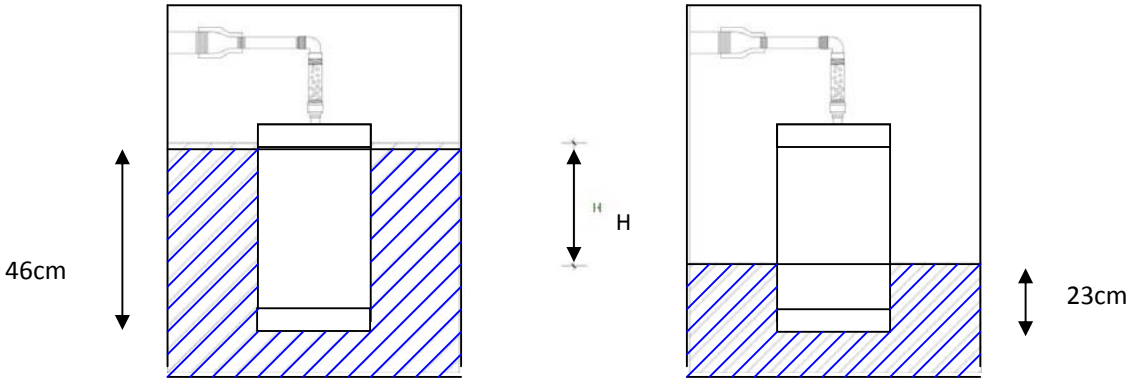
Realizando el equilibrio de fuerzas en el punto de interés tenemos que 13.714 kg es mucho mayor que 4.988 kg, teniendo un coeficiente de seguridad alto, considerando además que no toda la boya tiene que trabajar totalmente sumergida.

Es así que teóricamente en diseño estático nuestra cámara rompe presiones funciona, necesitando únicamente una altura de boya de 25 cm.

Análisis dinámico. Si bien teóricamente el análisis estático satisface el equilibrio y además trabaja con la presión en su condición más desfavorable no es suficiente puesto que de las observaciones en campo se ha determinado que bajo un comportamiento dinámico las alturas de cierre no guardan una relación con el análisis estático, por tener un diámetro efectivo de funcionamiento variable hasta el instante en que el tapón de caucho cierra la válvula de ingreso con un diámetro final de ø 3/8".



Para determinar el diámetro crítico de diseño en condición dinámica de acuerdo a mediciones desarrolladas en campo, observamos que la diferencia de alturas de boya sumergida en una primera condición cuando el flotador cierra el ingreso del agua y retiene el flujo y una segunda condición en la que el flotador permanece estático evitando el ingreso del agua hasta que desciende debido al consumo aguas abajo hasta detenerse, permite calcular el diámetro crítico en condición dinámica.



Condición dinámica Condición estática

Con las mismas características físicas de la boya anterior se determinó adicionalmente que se tiene un descenso final hasta una altura de boya sumergida de 0.23 cm a partir de donde la boya inicia su ascenso debido al empuje de agua hasta cerrar el ingreso de agua.

Calculando el volumen de boya sumergida en la condición de descenso final:

Volumen de la boya en PVC (ø 8") = (л *D^2) / 4 * Altura boya sumergida
Volumen = (л* 20.32 cm * 20.32 cm) / 4 * 23 cm
Volumen = 7,458.73 cm^3

Lo cual por lo anteriormente explicado equivale a 7.50 kg fuerza

El empuje neto proporcionado por la boya en este estado será:

Vol. (kg) = Vol. por empuje - W (peso de la boya)
= 7.50 kg - 2.5 kg
E_{neto} = 5.0 kg.

Con un área de ingreso de ø 3/8" (0.7125 cm^2), determinamos una presión neta de 7.01 kg/cm^2, con lo que nos aproximamos a la presión de diseño en el cálculo estático de 70 metros en columna de agua.

La altura de boya sumergida en condición dinámica experimentalmente nos arrojó un valor de 0.46 cm, al momento del cierre final del orificio de ingreso del agua, calculando el volumen de boya sumergida en condición de ascenso final (la boya cierra el ingreso del agua):

Volumen de la boya en PVC (ø 8") = $(\pi * D^2) / 4$ * Altura boya sumergida
Volumen = (л* 20.32 cm * 20.32 cm) / 4 * 46 cm
Volumen = 14,917.46 cm^3
Lo cual equivale a 14.92 kg fuerza

El empuje neto proporcionado por la boya en este estado será:

Vol. (kg) = Vol. por empuje - W (peso de la boya)
= 14.92 kg - 2.5 kg
E_{neto} = 12.42 kg.

De la expresión $P = F / A_{critico}$
7 kg/cm^2 = 12.42 kg / $A_{crítico}$
$A_{crítico}$ = 1.7742 cm^2

Relacionando diámetros de estas dos áreas en las condiciones antes analizadas tenemos:

$Ø_{crítico}$ = 1.5030 cm.
$Ø_{real}$ = 0.9525 cm.
Coeficiente = 1.578 (58% mayor).

De acuerdo al análisis dinámico se necesita una altura de flotación de boya mayor, (46 cm de altura), aproximadamente 100% más a la del análisis estático por tener un área de ingreso variable (Ø 58% mayor) en flujo y por consiguiente necesitar mayor empuje hidráulico.

La experiencia y los análisis anteriores nos llevan a definir el comportamiento del flujo al momento de ingresar a nuestro dispositivo de flotación y poder generalizar nuestros diseños en función a caudales, presiones y diámetros particulares.

f) Costos de implementar la innovación

A nivel costos de inversión esta innovación tecnológica en comparación a las cámaras rompepresiones convencionales presenta hasta más de un 100% de menor costo así como una optimización en los procesos constructivos.

Cuadro 4. Materiales y costos

Materiales	Costo Total ($)
CRP con boya convencional	$ 270.00
Propuesta CRP Q < 0.20 lt/seg	$ 85.00
Propuesta CRP Q > 0.20 lt/seg	$ 126.00
Flotador experimental (boya)	$ 43.00

Nota: los costos en dólares incluyen materiales, accesorios y mano de obra.

g) Conclusiones en la implementación de la innovación

- La evaluación a nivel eficiencia, costo y sostenibilidad de esta innovación tecnológica en comparación al sistema tradicional nos lleva a concluir que muchos sistemas rurales con problemas en estas estructuras pueden ser solucionados con la incorporación de estas boyas y los futuros diseños pueden ser planteados considerando estas rompepresiones como accesorios a ser colocados en la red de distribución prescindiendo en algunos casos de la cámara húmeda convencional, estando el flotador dentro de un tubo de mayor diámetro, mejorando la eficiencia de cierre y garantizando una vida útil mayor del dispositivo.

- El nivel de análisis experimental nos permite definir el comportamiento del flujo al momento de ingresar a nuestro dispositivo de flotación y poder generalizar nuestros diseños en función a caudales, presiones y diámetros particulares.

h) Recomendaciones para la implementación de la innovación

Recomendaciones producto de la experiencia en diseño y validación del flotador vertical:

- Para realizar un apropiado diseño hidráulico se debe evitar en lo posible la inclusión de cámaras rompepresión en red de distribución, ya que a futuro traen muchos problemas, para lo cual se debe promover el diseño sectorizado con cámaras distribuidoras de caudal para evitar usar rompepresiones con flotadores.

- Se debe de considerar una protección (a manera de poncho) en la parte superior del flotador para evitar que el agua cuando ingrese no salpique dentro

de la cámara húmeda y produzca mucha humedad en los elementos metálicos como la tapa sanitaria.

- Los orificios de salida dentro de la válvula diseñada deben ubicarse hasta por encima del orificio de ingreso del agua en la boya para evitar trabajar con un diámetro mayor que ocasionaría una fuerza de empuje mayor.

- El eje de la boya debe causar la menor fricción posible en su desplazamiento vertical ya que puede ocasionar que la boya se trabe al momento de ascender ó descender, para lo cual se deben de llenar y pulir los hilos en los accesorios metálicos que forman parte del diseño de la válvula en la boya.

- Es necesario incorporar una guía (fuste) para la boya para evitar el movimiento basculante por el empuje lateral del agua que pueda reducir la eficiencia al momento del ascenso. Si se opta por una guía en tubería de CºSºNº recortada esta debe ser movible para dar facilidad al momento de instalar la boya y tener orificios para permitir que el agua ingrese fácilmente. Se recomienda también si la estructura es nueva prever en la construcción de la losa de fondo un bajo relieve con las dimensiones de la boya para que este trabaje como guía.

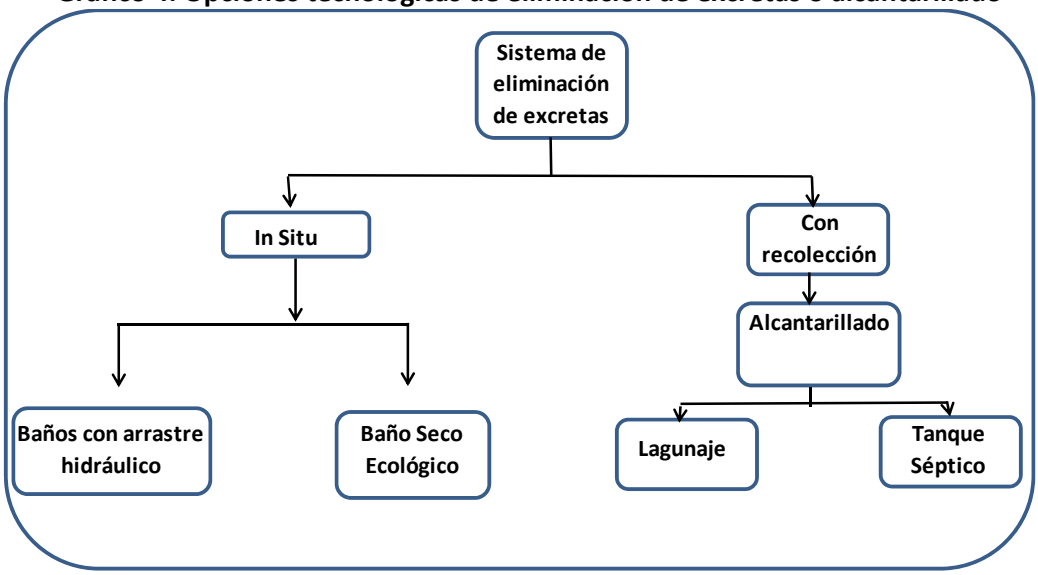
- Se debe de garantizar impermeabilización total en los puntos en los cuales se perfore la boya como al momento de instalar el eje de la válvula y conectarlo al flotador, reforzando con mayor pegamento (interna y externamente) estos puntos críticos que incrementarían el peso propio de la boya si se permitiera el ingreso del agua.

- Los materiales en contacto con el agua deben ser diseñados en PVC para evitar la corrosión y prever un anticorrosivo en aquellos que están propensos a la humedad.

- En función al caudal de diseño aguas abajo se debe de diseñar la capacidad y dimensionamiento de la cámara húmeda para garantizar un funcionamiento adecuado de la boya.

3. Tecnologías para la eliminación sanitaria de excretas

Gráfico 4. Opciones tecnológicas de eliminación de excretas o alcantarillado



Fuente: Proyecto SABA

3.1. Tecnologías In Situ

3.1.1. <u>Baños de Arrastre Hidráulico</u>

En la Región del Cusco, el 48% de la población está ubicada en el ámbito rural y el 95% de los distritos del Cusco están calificados como extremos pobres, muy pobres y pobres. Siendo mayoritariamente una población rural quechua hablante que sobrevive en torno a las actividades agrícolas y en su mayoría, el 70% de la población no accede a servicios de saneamiento y práctica el fecalismo al aire libre, es decir que los adultos y niños pequeños eliminan sus excretas en el campo, tras la casa o en el patio y los animales domésticos, mayores y menores que cohabitan con las familias se alimentan de los desechos humanos.

El índice de morbilidad en la Región, por enfermedades diarreicas es del orden del 23%; siendo las EDA, la tercera causa de la mortalidad infantil y tiene entre una de sus principales causas la falta de un saneamiento básico rural integral, es decir agua y saneamiento, que incluya además del agua potable, la instalación de sistemas de eliminación de excretas, incluyendo la educación en salud e higiene.

a) Antecedentes de la innovación

SANBASUR, inicia su trabajo con una I Fase de preparación (1996-1997), en la cual el Proyecto financia la construcción de sistemas de abastecimiento de agua sin considerar sistemas de eliminación de excretas, sólo se sensibilizaba a la población con 04 modelos de letrinas demostrativas de pozo seco ventilado, propiciando a que las familias decidan y demanden el tipo de letrinas que deseaban construir a nivel familiar,

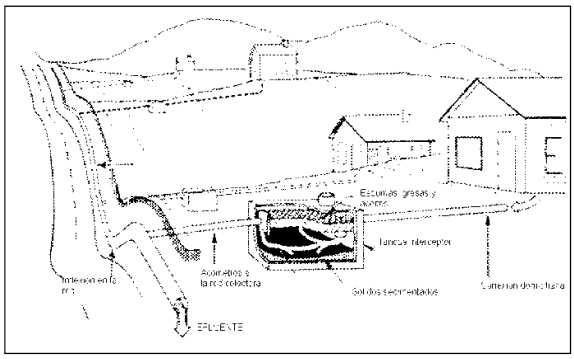
para que posteriormente se complemente el saneamiento al interior de sus viviendas, estrategia que no tuvo mucha acogida.

En su II Fase (1997-2000), en función a la experiencia de campo, se vio la necesidad de intervenir de forma integral considerando adicionalmente dentro de la intervención, el abastecimiento de agua y el saneamiento in situ, incluyendo en el financiamiento letrinas sanitarias de pozo seco ventilado (VIP), opción tecnológica que no tuvo una demanda y aceptación mayoritaria y menos aún en zonas de valles tropicales (cálidas) donde principalmente por los malos olores, la distancia de las letrinas respecto a la vivienda, la oscuridad dentro de la caseta y la presencia de moscas, este tipo de opción no tuvo buenos resultados.

b) Procesos de Validación de la Innovación

Reconociendo que los proyectos de letrinización no tienen el mismo grado de acogida en la población rural que los proyectos de agua potable, por la problemática socio cultural (fecalismo al aire libre) y la falta de concientización sobre la amenaza que constituye para la salud, el disponer las excretas al aire libre, motivó que se desarrolle una experiencia piloto buscando alternativas tecnológicas en eliminación de excretas para centros poblados semi dispersos con el desarrollo de un sistema de alcantarillado con arrastre hidráulico en una comunidad altoandina, con la opción tecnológica del Alcantarillado de Pequeño Diámetro, el año 1,999. Con los siguientes resultados:

- Alto nivel de aceptación, por parte de los beneficiarios por no generar malos olores.
- Ubicación del servicio higiénico dentro de la vivienda, en el entorno familiar.
- Inicio con el mejoramiento de los hábitos de higiene (lavado de manos después de usar el servicio).

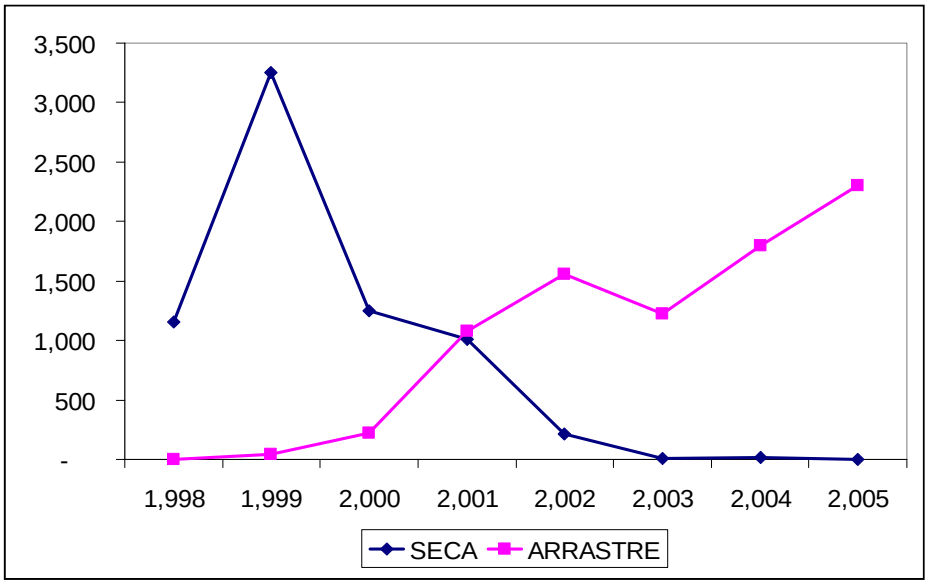


A partir de esta experiencia piloto con el sistema de alcantarillado de pequeño diámetro con arrastre hidráulico, se tuvo una gran demanda para una intervención similar en otras comunidades aledañas, pero por los costos que representaría replicar esta experiencia, no fue posible pensar en una masificación, optando por una solución con igual nivel de servicio al interior de la vivienda pero menos costosa con la implementación de la opción tecnológica de baños sanitarios con arrastre hidráulico.

Con estos avances desde el Proyecto se incluye dentro de las opciones tecnológicas además de la letrina de pozo seco ventilado la promoción y financiamiento de los

baños con arrastre hidráulico, teniendo estás últimas una mayor demanda, aceptación y mejor uso por parte de los usuarios tal como lo evidencia el gráfico, en el cual se puede apreciar las letrinas de pozo seco ventiladas vs el número de baños con arrastre hidráulico construidos desde el año 1,998.

Gráfico 5. Preferencias por opción tecnológica de eliminación de excretas

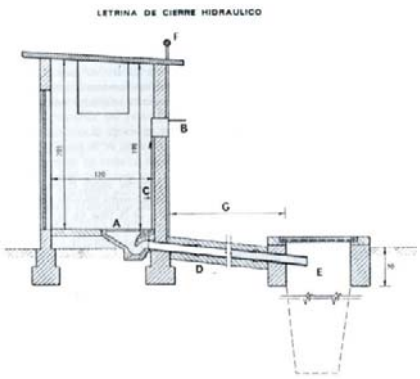


Fuente: SANBASUR.

Como alternativa tecnológica, por la buena aceptación y demanda, se opta por la masificación de baños con arrastre hidráulico en un ámbito de intervención tanto en zonas tropicales (< 900 m.s.n.m) como en zonas alto andinas (> 4,000 m.s.n.m), siendo política del Proyecto siempre y cuando los criterios técnicos como sociales sean convenientes, generalizar esta tecnología, novedosa en el Cusco no habiendo experiencias similares por otras instituciones involucradas en el sector aquellos años.

c) Características de la innovación

Un baño con arrastre hidráulico es aquella que está conectado, por medio de tuberías a una pozo de absorción, cuya losa que cuenta con un sifón, actúa como cierre hidráulico que impide el paso de insectos y malos olores del pozo al interior de la caseta y que necesita de una cantidad suficiente de agua (2 a 4 litros de agua) para el arrastre de las heces hasta el pozo. El pozo séptico está desplazado con respecto a la caseta, ambos están conectados por una tubería de longitud variable, en material PVC. La loza turca o inodoro queda instalada en la caseta y se puede construir en el interior de la casa o patio, dentro del entorno familiar.



d) Criterios de diseño

La instalación de estos baños para una determinada comunidad involucra múltiples factores relacionados entre sí, entre ellos la cultura y costumbres, el nivel social y económico, las condiciones geológicas y climatológicas y la disponibilidad de los recursos y materiales de construcción en las comunidades rurales. Siendo los requisitos deseables para ser apropiadas, que:

- No contamine la capa superficial del suelo.
- No contamine las aguas subterráneas que puedan entrar en los manantiales o pozos que sirvan de suministro de agua a la población.
- No contaminen las aguas superficiales.
- Sea económica y sencilla de construir.
- Sea fácil de mantener.
- Libre de olores y de la presencia de insectos.
- Segura y situada en las cercanías de la vivienda.

Además de los principales criterios culturales, técnicos y económicos se toma en cuenta para la selección de los baños, las conductas sanitarias que estas conllevan para asegurar la sostenibilidad de la intervención:

e) Criterios culturales

En el proceso de educación sanitaria, se toma en consideración las costumbres, entre otras las referidas a las modalidades de defecación y limpieza anal y el conocimiento y prácticas en materia de salud y prevención de las enfermedades relacionadas al agua y a las excretas que tiene una comunidad previa a la intervención.

f) Criterios técnicos

Emplazamiento, los baños con cierre hidráulico reúnen todas las condiciones sanitarias y pueden instalarse dentro de la propia vivienda o en el patio, a diferencia de las letrinas de pozo seco que tradicionalmente, por el factor de los olores y moscas, se han ubicado fuera de la vivienda. La cercanía a la vivienda y específicamente a la batea (punto de agua) favorece su mantenimiento y las prácticas de higiene sobre todo el lavado de manos, después de hacer uso del servicio.

Aparato sanitario, el aparato sanitario empleado utiliza el agua para el transporte de los excrementos, pueden ser del tipo losa turca que corresponde a la costumbre cultural de hombres, mujeres y niños(as) de defecar al aire libre en cuclillas, la otra opción es la taza o inodoro para la posición de sentado que algunos usuarios optan por mayor comodidad y/o estatus social.

El Proyecto financia la instalación de la losa del tipo "turco" cuyo costo incluye el asentado de la misma, con una bolsa de cemento y el pago de la mano de obra calificada, que incluye el tarrajeo del zócalo perimetral interior para evitar la erosión de la caseta al momento de utilizar el servicio con agua, mediante un balde.

Para un adecuado arrastre, el agua debe verterse lo más rápidamente posible con ayuda de un balde. No se debe votar papeles u hojas en el hoyo sino en una papelera específica para este uso. Esto para evitar una posible obstrucción del desagüe de la letrina.

Una observación importante es que algunos usuarios para la evacuación de los desechos sólidos, ya no usan el tradicional "balde de agua", sino que han adecuado una válvula (grifo) en la pared de la caseta, la misma que evacua automáticamente las excretas hacia el pozo.

Para el funcionamiento adecuado de este baño, no es preciso que se eche en la losa y/o taza agua limpia, más aún si el acceso a ésta es limitado, se puede usar agua empleada para lavar la ropa, bañarse u otro propósito similar.

El pozo séptico, el principio en que se basan todos los tipos de letrinas de pozo es el empleo de un hoyo excavado en el suelo para depositar los desechos sólidos tales como las excretas. Los líquidos se infiltran en el suelo circundante y el material orgánico se descompone produciendo:

- Gases como el anhídrido carbónico y el metano, que escapan a la atmósfera o se dispersan en el suelo.
- Líquidos que se infiltran en torno al pozo.
- Un residuo descompuesto y compactado.

A su vez este pozo, excavado debe reunir tres condiciones:

- Debe tener capacidad suficiente para que todos los fangos se acumulen durante su funcionamiento.
- Cuando termine el período de vida útil del pozo, deberá quedar aún un espacio para cubrir el contenido con un espesor de tierra suficiente para evitar la contaminación de la superficie con organismos patógenos (generalmente 0.50 m).
- Se deberá contar con una superficie de pared suficiente para la infiltración del líquido del pozo en el suelo circundante.

El volumen necesario para contener los fangos que se acumulan en el pozo durante su vida útil puede calcularse:

V = N x P x R.

Dónde:

V = Volumen efectivo del pozo (m3).
N = Período de vida útil del pozo (años).
P = Número de usuarios cotidianos del pozo.
R = Tasa estimada de acumulación de fangos por usuario (m3 anuales).

Las tasas de acumulación de sólidos son menores en los pozos húmedos (0.02 a 0.06 m3 persona al año) ya que la biodegradación es más rápida bajo condiciones húmedas que bajo condiciones existentes en los pozos secos, donde la humedad es mínima. El Proyecto realizó mediciones de estas tasas en sus letrinas secas y con arrastre, coincidiendo con los rangos de la literatura para letrinas secas (0.03 a 0.09 m3 persona día), hallando una mayor tasa de acumulación en el caso de las de arrastre debido probablemente a problemas de derrumbes dentro del pozo que aumentaron el volumen de sólidos no previstos en el diseño, a partir de esta medición es que se está recomendando estabilizar en general las paredes del pozo húmedo con mampostería seca de piedra, para tener una mayor vida útil del baño.

Puesto que estos baños con arrastre utilizan agua para la limpieza, se debe dimensionar el pozo, con una superficie de pared adicional por encima de los fangos para la infiltración del líquido. Es conveniente suponer que los poros del suelo situado bajo la superficie de los fangos estarán obstruidos.

La forma del pozo, depende de las preferencias locales, las condiciones del suelo, la cobertura de protección, etc. Pudiendo ser circular o rectangular, tomando en consideración estos criterios se define la profundidad del pozo y su forma.

Profundidad del pozo = profundidad de los fangos + profundidad de infiltración + profundidad de cierre de tierra

Nuestra experiencia recomienda el uso estricto de la papelera para evitar la obstrucción de la taza y también como un buen hábito de higiene. Asimismo, se recomienda cubrir el pozo séptico con una losa de concreto armado con un brocal de soporte.

No es necesario ventilar la acumulación de gases en el pozo, puesto que estos se infiltran fácilmente en el suelo circundante, por el contrario en zonas tropicales el incluir un tubo de ventilación facilita el ingreso de mosquitos, moscas dentro del pozo.

La Caseta debe reunir ciertos requisitos deseables como el tamaño, la ventilación, iluminación y facilidad de limpieza. Asimismo, se ha podido observar que algunos usuarios tomando la caseta tradicional la han modificado con una doble caseta, para la implementación de una ducha, y en otros casos en la misma caseta han instalado una ducha todo esto por iniciativa de ellos mismos. Los materiales utilizados para la construcción de la caseta son de la zona y apropiados a su medio (adobe, paja, madera, etc.), siendo parte del aporte comunal (caseta, puerta y techo), del mismo modo que la mano de obra para la construcción de la misma. En lo posible se respeta la tipología de las viviendas las cuales se toma como ejemplo para la construcción de la caseta.

g) Criterios económicos

El diseño de nuestros baños, es adecuado a nuestra realidad, siendo su costo accesible, esto debido básicamente a que incluye la participación de los usuarios con su mano de obra no calificada (excavación del pozo y zanja de la tubería). Algunos usuarios adecuan la instalación de una ducha en la misma caseta y en otros casos construyen otra caseta, a cuenta de ellos mismos; en este caso, se recomienda construir un pozo independiente para el desagüe de la ducha, en todo caso conectarlo al pozo percolador de la conexión domiciliaria de agua.

h) Metodología Aplicada en la Implementación de la innovación

La metodología de intervención consideró acciones de promoción, capacitación y educación sanitaria en los tres momentos de la intervención: “antes”, “durante” y “después” de la ejecución de la obra y en la post intervención, motivando la participación directa de los usuarios en la dotación de sistemas de agua con conexiones domiciliarias y servicios de eliminación de excretas, acompañando a las familias para el uso y mantenimiento del sistema, propiciando la apropiación de los servicios que permita garantizar la sostenibilidad de los servicios de saneamiento.

i) El proceso de educación sanitaria

El proceso de educación sanitaria se realiza durante todo el ciclo de intervención con el propósito de mejorar o cambiar los hábitos de higiene en la población. La promoción busca organizar, sensibilizar y concientizar a los recursos humanos, institucionales y comunitarios para la ejecución de las acciones de saneamiento y acompaña a la población antes, durante y después de la intervención:

- Antes de la ejecución de los baños, se desarrolla un taller de análisis de la situación de saneamiento en la comunidad para sensibilizar a través de la

identificación de los problemas de saneamiento y la importancia de la tenencia, uso y mantenimiento de los servicios de eliminación de excretas.

- Durante la ejecución de la intervención, los usuarios(as) participan en el desarrollo de las acciones sociales, talleres de promoción y en la construcción de los servicios aportando la mano de obra no calificada y los materiales de la zona (piedra, arena, hormigón, adobe) y el proyecto aporta con la loza turca, la mano de obra calificada, el cemento para el asentado de la loza, el zócalo y las tuberías que conectan al pozo séptico.

- Después de la intervención, cuando ya disponen de los servicios a nivel domiciliario se promueve la educación sanitaria y acompañamiento a las familias para la práctica de los hábitos de higiene y conductas sanitarias, con la participación de los establecimiento de salud en el ámbito e involucrando a los gobiernos locales en todo el proceso.

La sola instalación de los baños no produce por sí solo, beneficios para la salud, está demostrado que la incorporación de la educación sanitaria y el mejoramiento o cambios de hábitos mejora las condiciones de salud y disminuye la tasa de enfermedades diarreicas. El cambio de las prácticas de higiene representan una mejora sustancial en las condiciones de vida de las comunidades rurales, tales como la disposición adecuada de excretas y el lavado de manos que puede reducir hasta en un 35% o más la tasa de EDA.

j) Costo de la Innovación

Los primeros módulos implementados con diseños bastante simples y con materiales de la zona preferentemente, tuvieron un costo muy bajo ya que se apoyó únicamente con los materiales industriales y existía una contribución por parte de la familia usuaria del orden del 60% (el costo aproximado de estos baños estaba en un rango de S/ 350.00 a S/. 500.00 nuevos soles).

Con las acciones de masificación se mejoraron los diseños y se emplearon materiales de mejor calidad para las casetas, con la inclusión de duchas, en algunos casos y pozos revestidos que incluyeron a veces tanques sépticos o biodigestores, incrementando el costo de los módulos a rangos que variaron entre S/ 1,500.00 a S/ 3,500.00 Nuevos soles.

k) Resultados de la innovación

- Mayor aceptación y demanda en comparación a las letrinas de pozo seco ventilado.
- Mayor seguridad para su uso y facilidad de operación, evitándose la presencia de malos olores y moscas.
- Facilidad de integrarla físicamente con la batea, con una ubicación muy próxima a la vivienda dentro del entorno familiar.
- Por estar ubicada próxima a la batea favorece la práctica del lavado de manos, después de hacer uso del servicio.
- Brinda un servicio parecido al existente en muchas zonas urbanas próximas, lo que da a los beneficiarios una percepción de mayor estatus y autoestima, pudiendo ser conectado el baño en un futuro a un sistema de alcantarillado.
- Se ha desarrollado esta opción tecnológica en comunidades dispersas, semi dispersas y concentradas en las cuales se ha ubicado convenientemente el pozo sin perjuicio del vecino ni del usuario, adaptándose a toda condición topográfica, así como piso altitudinal (<900 m.s.n.m - > 4,000 m.s.n.m), no se han evidenciado restricciones por la concentración de viviendas ya que en general las comunidades disponen de un patio de tamaño suficiente, para ubicar las casetas y sus pozos.
- Puesto que la caseta no es necesario que se reubique cuando el pozo se llena, sólo necesita ser construida una sola vez, mejorándose muchas veces el material constructivo.
- Se han incorporado en algunas zonas duchas aledañas o situadas dentro de las casetas, que favorecen la higiene corporal.
- Terrenos arcillosos o con nivel freático alto no han sido limitante para poder desarrollar esta opción, adecuándola de acuerdo a nuestra experiencia a nuevas zonas de absorción según la disponibilidad del terreno.
- Desde el Proyecto se promueve el uso de “baldes con agua” para el funcionamiento de estos baños, de esta manera se controlan los caudales necesarios para su funcionamiento y no se afecta el agua para consumo, disminuyendo el riesgo de contaminación.
- Las casetas son más ventiladas e iluminadas, favoreciendo el acceso y la aceptación del usuario.

h) Recomendaciones para el uso de la innovación

- Uno de los aspectos que usualmente han sido identificados como limitantes al aplicar esta opción tecnológica es el riesgo de contaminación del suelo y en

especial de las aguas subterráneas. El efluente de los pozos puede contener agentes patógenos y sustancias químicas que contaminan el agua potable. La acción filtrante del suelo elimina rápidamente los protozoarios y helmintos, debido a su tamaño relativamente grande, pero las bacterias y los virus son más persistentes. De las sustancias químicas generalmente presentes en los desechos domésticos, los nitratos presentan un riesgo grave para la salud (los lactantes alimentados con leche preparada con agua muy rica en nitratos pueden presentar la "enfermedad del niño azul").

- Otro de los riesgos identificados es que el efluente se infiltre en el suelo a poca profundidad, cerca de tuberías por las que corra agua en forma intermitente o con una presión ocasionalmente muy baja, que por juntas en mal estado, grietas y/o agujeros en las tuberías, permitan que el efluente penetre en ellas cuando estén vacías o cuando la presión es baja.

- Existe un riesgo de contaminación del suelo superficial debido a las fuerzas capilares que existen en los micro poros del suelo del efluente de los baños o también desechos sólidos mezclados con agua pluvial que puedan subir hasta la superficie del suelo, aunque los desechos sólidos en el pozo no alcanzan un nivel tan alto. Esto puede representar un riesgo, por ejemplo para niños que juegan cerca del pozo en un suelo contaminado, que tocando su boca con las manos sucias puedan contaminarse.

- En lo posible se debe evitar la contaminación fecal del agua destinada al consumo y no exagerar los riesgos de contaminación de las aguas subterráneas. En la bibliografía consultada se recomienda que la existencia de 1 a 2 metros de suelo arenoso no saturado bajo un pozo, será probablemente una protección adecuada contra la contaminación de las aguas subterráneas, y es probable que la contaminación sólo se extienda apenas lateralmente, para el caso de suelos arcillosos a menos de 1 metro los niveles de contaminación son bajos.

- Uno de los aspectos que desde nuestra experiencia es necesario promocionar en mayor medida con los usuarios es la ubicación del baño muy cercana al punto de agua, puesto que caso contrario se obstaculiza la operación y mantenimiento si el agua se encuentra distante, dificultando el acceso del usuario y el acarreo de un balde con agua a distancias que resulten inapropiadas.

- Los pozos en algunos casos han sido cubiertos con materiales de la zona, mediante rollizos, palos, lajas de piedra, etc., los cuales especialmente en el caso de los de madera tienen una vida útil que no pueden guardar relación con la antigüedad del pozo, ocasionando posibles riesgos de accidentes por deterioro del maderamen y más aún si estos están ubicados en zonas transitables. Se recomienda incluir una pequeña losa (e = 5 cm) para el tapado de los pozos.

- Se debe de tener cuidado preferentemente en no incorporar el insumo de limpieza (papeles, hojas) en la losa, para evitar una posible obstrucción, se recomienda y se

promociona el empleo de una papelera dentro del baño que sirva de recinto para el insumo de limpieza.

- De las mediciones efectuadas para determinar la tasa de acumulación de lodos se ha evidenciado que el interior de los pozos está expuesto a inestabilidad con el uso, especialmente en terrenos arenosos, recomendándose estabilizar estos pozos.

- Es necesario realizar un control de calidad a la losa de granito, para garantizar un buen sello de agua, se han identificado en campo si bien en forma aislada defectos en la fabricación de la trampa que no garantizan un buen cierre hidráulico.

- No construir baños con arrastre hidráulico en caso de: existencia de pozos o fuentes de agua para consumo dentro de la comunidad y en actual uso, poca cantidad de agua (continua y permanente) que no abastezca la provisión para la operación y limpieza del baño, zonas en las cuales se debe de pensar en otras opciones como los baños secos ecológicos, dando prioridad al poco recurso hídrico únicamente para el consumo humano.

- En zonas donde las condiciones del suelo (nivel freático alto) impidan la absorción de los líquidos en el terreno o se evidencien niveles de contaminación, es recomendable el uso de biodigestores y en algunos casos humedales superficiales para superar estas limitaciones.

i) Lecciones Aprendidas

- El éxito en la provisión de sistemas de eliminación de excretas in situse relaciona en forma directa con la demanda. La demanda de los baños de arrastre hidráulico es mayor que las letrinas secas en las comunidades de zona alto andina y del valle tropical y la poca aceptación de las letrinas secas por parte de los usuarios se debe a la presencia de olores ofensivos e insectos.

- La estrategia de promoción del saneamiento debe ser integral incluyendo la instalación del agua potable y baños, con un componente muy fuerte de promoción y educación sanitaria para promover una demanda, aceptación, uso y mantenimiento del servicio de saneamiento.

- En las comunidades que disponen del recurso hídrico, esta opción favorece la apropiación y sostenibilidad de los servicios de saneamiento. La incorporación de las duchas, desde la construcción de las casetas es un elemento positivo que promueve las nuevas prácticas de higiene personal y familiar, tanto en la zona alto andina como en el valle tropical.

- La participación del usuario, antes y durante la construcción del servicio, lo involucra en todo el proceso y garantiza el uso y mantenimiento del servicio de saneamiento. La participación del usuario se ve favorecida cuando ha recibido una educación sanitaria e información clara sobre las ventajas y desventajas, costos y

vida útil de los baños, lo que redunda en una mayor valoración y participación en el proceso constructivo y sostenibilidad del servicio de saneamiento.

- Estos baños para las comunidades rurales significan mejoras del "Estatus Social" y el uso de duchas indican los cambios de conducta sanitaria de las comunidades rurales y el beneficio para la salud familiar.

3.2. Tecnologías con recolección

3.2.1. Alcantarillado de pequeño diámetro[4]

Los sistemas de alcantarillado de pequeño diámetro se diseñan con la finalidad de que los colectores sólo reciban líquidos de las aguas residuales domésticas para su disposición y tratamiento; otros residuos como, la arena, grasa y otros sólidos que podrían obstruir los tubos, son separados del flujo de desechos en tanques interceptores instalados en las partes altas de cada conexión a los colectores; estos sólidos acumulados en los tanques se extraen periódicamente para su disposición segura.

A diferencia del alcantarillado convencional por gravedad que tiene un diseño como canal abierto, el alcantarillado de pequeño diámetro puede ser diseñado con tramos cuya línea de gradiente hidráulica se encuentra por encima del trazo de la tubería; de esta manera, el flujo dentro de la tubería puede tener tramos como canal y otros a presión. Durante el desarrollo del proyecto se debe efectuar un análisis por separado de los tramos que tengan condiciones de flujo y gradientes más o menos homogéneas.

Los tramos planos que resultan críticos durante la operación del sistema de alcantarillado de pequeño diámetro, son los puntos elevados donde la sección del tubo cambia de totalmente lleno a canal abierto y los puntos extremos de largos; en estos puntos críticos, el sistema debe ser diseñado con un perfil hidráulico por debajo de las salidas de los tanques interceptores para evitar el represamiento en los tanques interceptores y el ingreso de las aguas residuales hacia el interior de las viviendas.

Las principales ventajas que se obtienen al emplear este sistema son las siguientes:

- Poca cantidad de agua para el transporte de la pequeña cantidad de sólidos provenientes del tanque séptico; entonces, a diferencia de los alcantarillados convencionales, los de pequeño diámetro pueden emplearse sin temor a los atoros donde el consumo doméstico de agua es bajo o donde se necesitan largos tramos planos con pocas conexiones.

- Costos reducidos de excavación, porque al retirar los sólidos no es necesario que las redes se diseñen para mantener una velocidad de flujo mínima para su auto limpieza; por esto, en vez de instalarlos en una línea recta con gradiente uniforme,

[4] Extraído del documento "especificaciones técnicas para la construcción de sistemas de alcantarillado" elaborado por CEPIS-OPS con la colaboración de COSUDE, el año 2005.

se les puede colocar en una alineación curvilínea con gradiente variable o de inflexión; esto reduce los costos de excavación, ya que el alcantarillado puede seguir la topografía natural de manera más aproximada que los alcantarillados convencionales y evitar la mayoría de las obstrucciones en su camino.

- Costos reducidos de material, en vista que los caudales de diseño del alcantarillado de pequeño diámetro son menores que los del alcantarillado convencional, gracias a la acción igualadora y compensadora del tanque interceptor, el tamaño de las redes no convencionales se verán reducidas; además, los costosos pozos de inspección pueden ser reemplazados con registros o puntos de limpieza más simples y de menor costo.

- Requerimientos reducidos de tratamiento, teniendo en cuenta que en las plantas de tratamiento no se necesita efectuar el tamizado, la remoción de arena ni la sedimentación primaria, dado que estos procesos unitarios se realizan en los tanques interceptores; este sistema es muy simple y fácil de ser comprendido por la población. Emplea tuberías comunes tendidas sobre tramos superficiales, los costos de construcción son mínimos, en promedio llegan a un tercio del alcantarillado simplificado y una quinta parte del costo del sistema convencional; además, el sistema proporciona el tratamiento primario y quienes se encargan de la construcción y operación son los usuarios.

Las desventajas que se obtienen de la experiencia son las siguientes:

- La principal desventaja del sistema de alcantarillado de pequeño diámetro es la necesidad de evacuar y disponer de forma periódica los sólidos de cada tanque interceptor. La experiencia con este tipo de sistema es limitada y variada; en consecuencia, debe ser usado con criterio y adoptado sólo en situaciones donde exista una sólida organización para el mantenimiento, que sea capaz de tener un efectivo control sobre las conexiones del sistema. Se debe prevenir sobre las conexiones ilegales ya que es posible que no instalen tanques interceptores y de esa manera, se introduzcan sólidos en un sistema que no está diseñado para manejarlos; de darse esta situación podría crearse serios problemas operacionales.

- No maneja aguas residuales de tipo comercial, que tengan alto contenido de arenisca o sólidos sedimentables, los restaurantes pueden ser conectados si están equipados con trampa de grasas eficientes.

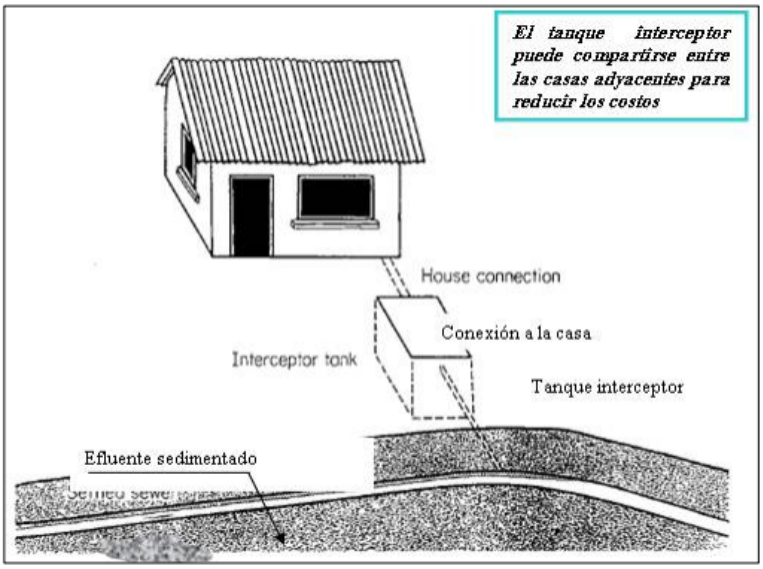
- Los olores son el problema más común, se produce cuando el sulfuro de hidrógeno del efluente del tanque séptico escapa a la atmósfera, también cuando los sistemas de ventilación de la vivienda son inadecuados; el diseño apropiado de ingeniería puede controlar los problemas de olor.

El alcantarillado de pequeño diámetro es un sistema que se adapta mejor para pequeñas comunidades, zonas periféricas, poblados costeros, etc. Se ha construido en lugares de baja densidad demográfica y en grandes terrenos donde el suelo tiene bajos coeficientes de infiltración; es apropiado para un grupo aislado de casas y

asentamiento rurales. En los Estados Unidos existen experiencias en los que este sistema presta servicios de 10 a 100 viviendas.

Además, estos sistemas son eficientes y de costo reducido, cuando la densidad del hogar es baja, el terreno presenta ondulaciones moderadas y la elevación final del sistema es menor a casi toda el área de servicio; asimismo, este sistema puede ser efectivo en un terreno donde es demasiado plano para instalar alcantarillados convencionales sin que se requieran excavaciones profundas, donde el suelo es rocoso, inestable o donde el nivel freático es elevado. Finalmente, este sistema es apropiado para que las comunidades tengan un bajo consumo de agua, quizás menores a 30 l/hab/día.

Gráfico 6. Diagrama esquemático del alcantarillado de pequeño diámetro



Componentes del sistema de alcantarillado de pequeño diámetro

Tuberías

Los colectores son tuberías de plástico de pequeño diámetro (diámetro mínimo entre 75 a 100 mm) que están enterradas a una profundidad suficiente para recolectar las aguas residuales sedimentadas que provienen de la mayoría de conexiones por gravedad. A diferencia de los colectores convencionales, los colectores de pequeño diámetro no están necesariamente colocados sobre una gradiente uniforme con alineamiento recto entre los pozos de inspección o los registros de limpieza; como no transporta sólidos, permite la existencia de tramos de la tubería que trabajan adecuadamente, aun a presión, con pendientes positivas o negativas, siempre que la presión de la tubería no provoque el reflujo de las aguas residuales hacia los tanques sépticos conectados al tramo. No es necesario considerar la pendiente y la velocidad mínimas y máximas por que el líquido está libre de sólidos; por lo tanto, las tuberías pueden seguir la topografía del terreno utilizando al máximo la energía que resulta de la diferencia de cotas entre aguas arriba y aguas abajo.

Las tuberías de PVC o de polietileno de baja densidad se utilizan para los colectores de pequeño diámetro. Sus ventajas incluyen peso liviano, alta resistencia contra impactos, resistencia a la corrosión, flexibilidad, etc.

La configuración de las redes se empieza seleccionando un punto de descarga final y los límites del servicio, generalmente son fijados para que se ajusten a las áreas de drenaje natural, dentro de estos límites se selecciona las rutas de los ramales y los colectores principales; los cuales, deben considerar los siguientes aspectos:

- Ubicación y elevación del tanque interceptor;
- Derechos de paso y retiros fronterizos;
- Desarrollo futuro previsto;
- Restauración del sitio; e
- Interrupción para los residentes o para el tránsito.

La ubicación y descarga de los tanques interceptores, junto con la topografía local, establecerán en la mayoría de casos las rutas y profundidades necesarias de los colectores; se debe respetar los derechos de paso y los retiros fronterizos existentes; también, se puede reducir los costos de excavación mediante la selección de una ruta alterna y quizá se necesite otros retiros fronterizos especiales.

Al ubicar las rutas, se debe tener en cuenta el costo para componer pavimentos, sardineles, acequias y otras estructuras que se puedan deteriorar durante la construcción. El alineamiento curvilíneo permitirá que en el trazo se puedan evitar ciertas estructuras, esta opción debe ser planeada con cuidado a fin que los desvíos en las juntas no excedan aquellos permitidos por el fabricante de tuberías; además, es recomendable tender tuberías a ambos extremos de la calle antes que evitar cruzarla y construir pasos de calle costosos.

La profundidad de instalación de la tubería, debe ser la mínima necesaria para prevenir el daño por movilización de tierras, de vehículos y por la congelación; la profundidad típica cuando no se esperan una carga alta por movilización de tierras o de camiones, es de 60 a 75 cm.

Tanque interceptor

Es el tanque al cual se descargan las aguas residuales de la vivienda, es un tanque hermético, enterrado, con una toma de entrada y una de salida con deflectores; está diseñado para retener el flujo del líquido de 12 a 24 horas y para remover del caudal líquido tanto los sólidos flotantes como los sedimentables; asimismo, proporciona un considerable volumen de espacio para el almacenamiento de los sólidos, los cuales, se extraen periódicamente a través de una puerta de acceso; comúnmente se utiliza como tanque interceptor un tanque séptico de una sola cámara.

El tanque interceptor cumple cuatro funciones:

1. **Sedimentación**: la función principal del tanque es remover los sólidos en suspensión de las aguas residuales; se diseña para dar condiciones de aquietamiento por un lapso suficiente para permitir que los sólidos sedimentables se depositen en el fondo y los sólidos flotantes lleguen a la superficie.

2. **Almacenamiento**: para evitar la necesidad de remover los sólidos con demasiada frecuencia se diseña el tanque para almacenar el lodo y la espuma por el periodo de tres años.

3. **Digestión**: se produce debido al almacenamiento prolongado de los sólidos en el tanque; las bacterias realizan la degradación de los sólidos orgánicos en condiciones anaerobias, originando la reducción del volumen de lodos y generando gases anoxicos y de mal olor.

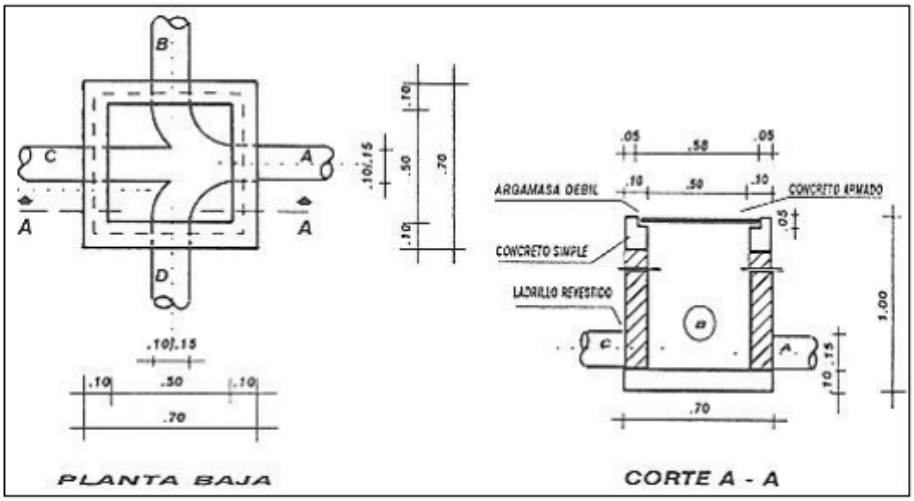
4. **Atenuación del flujo**: los tanques interceptores proveen un almacenamiento igualador limitado que reduce el flujo máximo; se ha registrado casos donde el caudal se ha reducido de 11 l/hora a menos de 4 l/hora; está atenuación aumenta a medida que aumenta el área superficial liquida del tanque.

Elementos de inspección

Los registros de limpieza, inspección y las cajas de visita permiten el acceso a los colectores para su mantenimiento; en muchas circunstancias se prefieren los registros de limpieza antes que las cajas de visita porque cuestan menos y pueden sellarse herméticamente; se evita así, la mayor parte de la infiltración y arena que comúnmente ingresan a través de las paredes y tapas de las cajas de visita. Las cajas de visita se recomiendan en los encuentros principales de los colectores, en cambios muy bruscos de dirección, o en sitios donde es difícil construir un registro, por tener muy profunda la tubería (vea el gráfico cajas de visita).

Los registros de inspección y limpieza deben estar dispuestos en las cabeceras de la red, en el cruce de dos o más colectores, en cambios muy bruscos de dirección, en los puntos altos para evitar la acumulación de gases y en tramos rectos a intervalos de 120 a 300 m (vea el gráfico registro de inspección y visita).

Gráfico 7. Diagrama cajas de visita



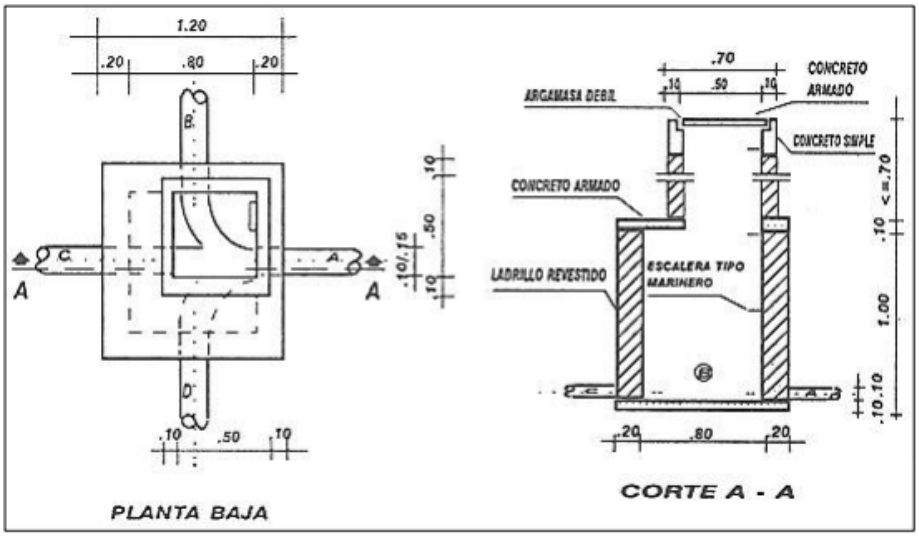
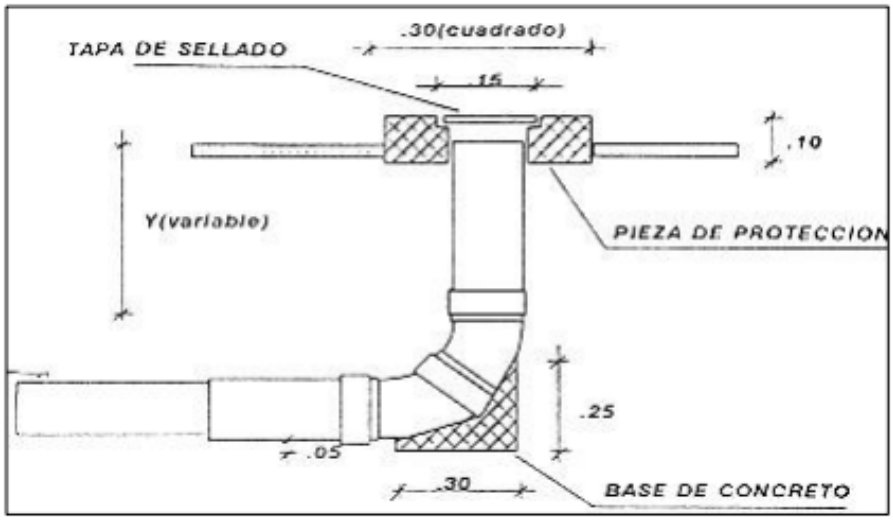
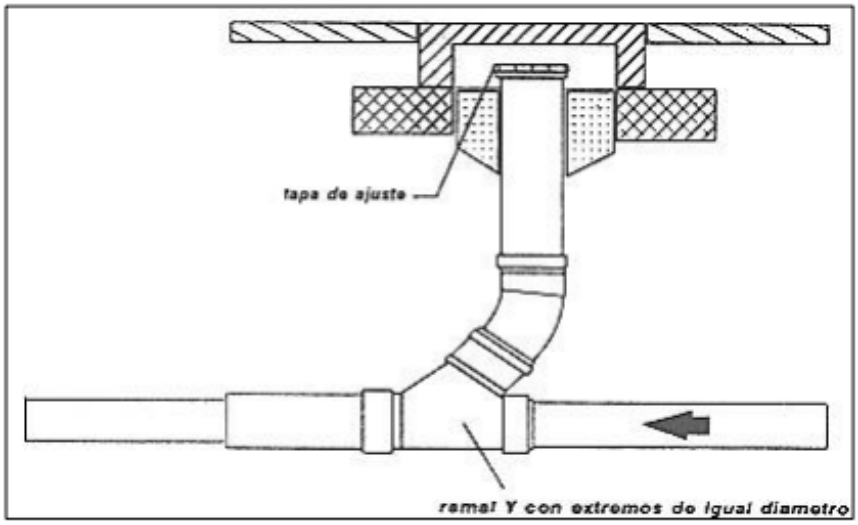


Gráfico 8. Diagrama cajas de visita





Colector del inmueble

Este colector debería ser una tubería de 75 a 100 mm de diámetro, instalada en una gradiente negativa uniforme suficiente como para transportar sólidos fecales, pero no tan grande como para que se encallen los sólidos en la línea. Los gradientes recomendados son los siguientes: a) 1 a 30 para tubería de 75 mm; y b) 1 en 40 para tubería de 100 mm. Los codos que tengan más de 45° deben tener un registro de limpieza; asimismo, debe asegurarse la hermeticidad de todas las juntas.

Conexión de servicio

Las conexiones de servicio desde el tanque interceptor hasta la alcantarilla pública deben tener el mismo diámetro, o preferiblemente un diámetro menor que esta última. Las conexiones al colector público generalmente están hechos con accesorios en T sanitaria o T común. Si existe un punto alto en el colector público cerca de donde se debe realizar la conexión, se debe hacer un esfuerzo para procurar que la conexión se realice en ese punto, para que funcione como aliviadero de aire.

Elementos de ventilación

Se deben ventilar los colectores para mantener las condiciones de flujo libre. La ventilación dentro de las redes domésticas son suficientes, salvo donde se instalan colectores de gradiente inflectiva. En tales casos, se debe ventilar los puntos altos del colector, ya sea ubicando los puntos altos en las conexiones o instalando un registro de limpieza con una tapa de ventilación. Los colectores que se colocan sobre una gradiente continua negativa, no necesitan ventilación para funcionar adecuadamente.

Experiencia en el C.C.P.P. de Atapata, región Cusco

El año 1999, se toma la decisión de ejecutar una experiencia piloto de eliminación de excretas con arrastre hidráulico en la comunidad de Atapata; para lo cual, se eligió el

sistema de alcantarillado de pequeño diámetro. Está elección de la opción tecnológica se fundamentó en la manipulación de las excretas animales, teniendo en cuenta que las excretas del ganado vacuno son usadas para fertilizar los campos de cultivo y como insumo de combustión.

Resultados

a) Logros:

- Aceptación de la tecnología por parte de los beneficiarios.
- Demanda con la intervención similar de otras comunidades aledañas en la zona.
- Reducción de costos de inversión (aprox. 70% menos) frente a un sistema de alcantarillado convencional.
- El 85% de las familias en la comunidad de Atapata disponen de este servicio.
- El 98% de los usuarios directos reportan un alto nivel de satisfacción con el tipo de servicio, por no generar malos olores.
- Se ha iniciado el mejoramiento de los hábitos de higiene en la población, lavado de manos después de usar el servicio en un 40% de las familias..
- El 94% de los usuarios tienen un uso adecuado de los servicios (de acuerdo al registro de seguimiento intradomiciliario SID)
- Se ha disminuido la tasa de incidencia de EDAS en Atapata de 250 a 63,6.

b) Factores facilitadores:

- Existencia de un sistema con continuidad de abastecimiento de agua potable a nivel de conexión domiciliaria.
- Topografía en la zona y existencia de un espacio a nivel domiciliario para la construcción del tanque y la previsión de un lecho de secado o reutilización de lodos como abonos para los cultivos.
- Buena organización y participación comunal.
- No se requieren herramientas especiales para la operación y mantenimiento del sistema.
- Interés por parte del gobierno local, en el cofinanciamiento de un sistema de desagüe para la comunidad.

c) Principales obstáculos:

- Aceptación de algunos beneficiarios en la ubicación dentro de su vivienda y próxima a su batea de agua, de un baño con arrastre hidráulico, por temor a la presencia de malos olores, de acuerdo a experiencias con letrinas de pozo seco ventilado.
- Ubicación de algunas viviendas en partes bajas a la red colectora.
- Existencia de material arcilloso en la zona, con poca capacidad de infiltración.
- Personal de Salud con excesiva carga de trabajo, a veces dificulta las labores de seguimiento de acuerdo a lo establecido.

Tendido de red colectora

Construcción de buzón

Buzón en funcionamiento

3.2.2. Baños secos ecológicos[5]

Aplicación

Es un sistema adecuado para la disposición de las excretas en zona rural y urbana marginal; donde generalmente el abastecimiento de agua se hace en forma manual. No son apropiados en los lugares en donde el agua es usada para la limpieza anal.

Parte de un nuevo concepto, al considerar a las excretas no como un peligro sino como un recurso, para lo cual la reutilización del desecho tanto sólido como líquido forma parte de la opción tecnológica.

Consideraciones generales

- Se diseña para zonas en donde no es factible implementar letrinas tradicionales por la presencia de suelo rocoso o cuando el nivel de agua subterránea es muy superficial.
- Consta de dos cámaras separadas por un tabique central, con un agujero superior cada una por donde se introducen las heces y la ceniza; tiene una compuerta de descarga lateral por donde se extraerá los abonos una vez digeridos.
- Las cámaras se construyen sobre el nivel natural del suelo.
- En algunos casos se hacen escalones y se encontrarán ubicados sobre el terreno. Si el terreno tiene pendiente se puede aprovechar para hacer el sanitario con menos escalones. Una alternativa muy práctica para evitar sobreelevar la caseta, es considerar un sanitario el cual descanse sobre las cámaras y sea movible fácilmente de tal manera que el usuario se siente sobre las cámaras y no se pare sobre ellas, para disminuir el número de escalones.

Materiales

Para la construcción de la letrina ecológica seca se debe tener en lo posible materiales locales, que permitan la autoconstrucción por parte de los beneficiarios.

Componentes

Presentan los siguientes componentes:

- Cámara
- Losa
- Aparato sanitario separador de heces y orina
- Urinario
- Caseta
- Ventilación

[5] Extraído del documento "especificaciones técnicas para la construcción de letrinas de procesos secos" elaborado por CEPIS-OPS con la colaboración de COSUDE, el año 2005.

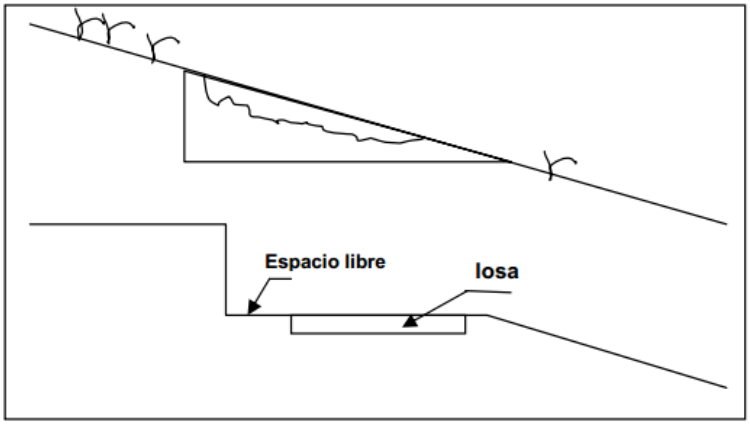
Procedimientos de construcción

Para la construcción de los baños secos ecológicos se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones para cada uno de sus componentes:

Excavaciones para base

- Antes de realizar la excavación debemos limpiar el sitio donde empezaremos a construir el baño, este hoyo deberá tener una profundidad de aproximadamente 10 cm. En todo el cuadro donde se construirá las cámaras.
- Si el terreno presenta pendiente se excava una parte para emparejar el terreno y dejamos una parte plana en donde se construirá el módulo, además se deberá dejar un espacio entre el terreno y el hoyo para facilitar la construcción de las cámaras.

Gráfico 9. Diagrama base para la letrina



- Después se procederá a compactar el suelo hasta tener el piso completamente plano y limpio; se echará piedras grandes en el hoyo para poder tener un buen apoyo, sobre ésta se vaciará una mezcla de mortero en la siguiente proporción: 1 de cemento, 3 de arena, y 3 de grava, ello para poder tener una base, esta se debe iniciar 0,05 m bajo el nivel natural de terreno y deberá sobresalir 0,10 m de la base; de tal forma que su espesor sea de 0,15m.

Cámaras

Por lo general, se construyen dos cámaras independientes, ambas cámaras pueden ser de mampostería, concreto simple o armado; se recomienda que el tamaño de la cámara sea de 1.1 m^3 a 2.23 m^3.

Para la construcción se tendrán en cuenta:

Ubicación: estarán lo más próximo a la vivienda dentro del entorno familiar para facilitar a su acceso.

Las cámaras se construirán sobre la base previamente construida, estas deben ser construidas dejando 0,05 m libres en todo el perímetro de la base; así mismo tomando como referencia la orilla de la pared central que divida ambas cámaras.

Dimensiones

El cálculo del volumen requerido por cada cámara, será la multiplicación del factor de volumen por el número de personas que utilizarán el baño.

Debe ser de aproximadamente 1,30 m de ancho x 1,70 m de largo y 1,00 m de alto

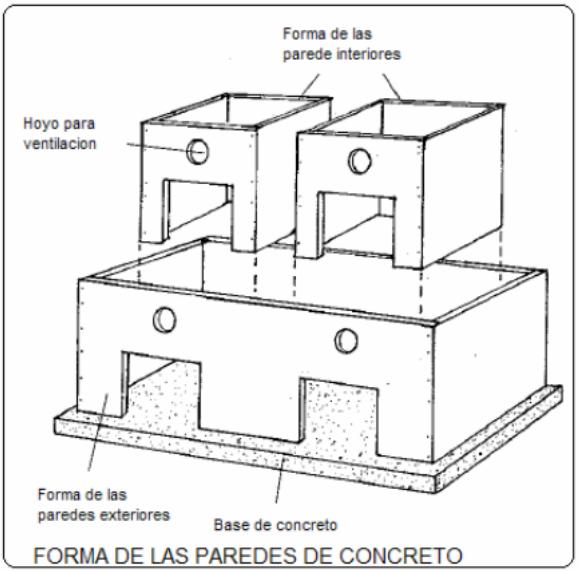
Paredes

Para la construcción de las paredes para las cámaras se deberá seguir las siguientes especificaciones:

Altura: Se recomienda una altura de 100 cm. Medidas a partir de la base o losa inferior.

Material: Se usará para ello ladrillo de 0,20 de ancho x 0,40 m de largo y 0,10 m de alto, y una mezcla con la siguiente proporción para las juntas: 1 de cemento, 3 de arena. Cuando se construyan las cámaras se deberá tener en consideración que de deberá dejar un espacio en la pared posterior de 0,40 m de ancho x 0,40 m de alto, para las compuertas de evacuación de las excretas.

Gráfico 10. Diagrama de las cámaras



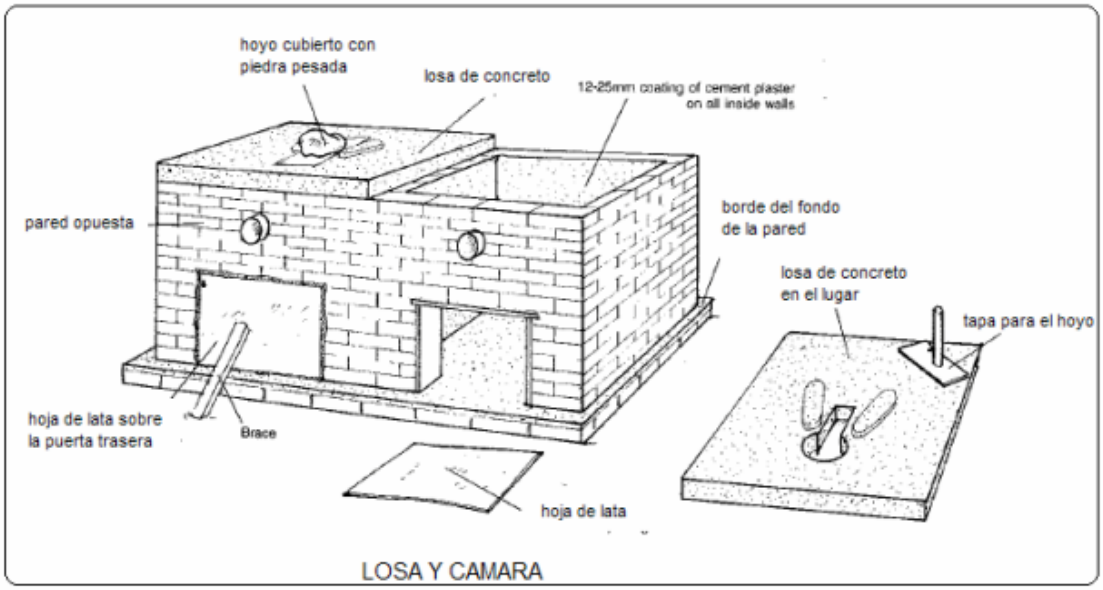
Losa

La construcción de la losa se puede hacerse directamente sobre la cámara o en piezas usando como moldes madera y cuando éstas se encuentren secas se colocarán sobre las cámaras.

Consideraremos realizar la construcción de la losa directamente sobre la cámara y para ello tendremos lo siguiente:

- Las dimensiones de la losa serán en base a las dimensiones de la cámara, recomendando que sean de 1,30 m de ancho x 1,70 m de largo y de 10 – 15 cm de alto.
- En la construcción de la losa se tiene que considerar la medida de las aberturas para colocar la manguera que evacuará la orina, el tubo de ventilación y las tasas, para lo último se considerará un diámetro de 40 – 50 cm.
- La tasa deberá ser prefabricada previamente y de un material adecuado para facilitar la separación de la porción sólida y líquida de las excretas.

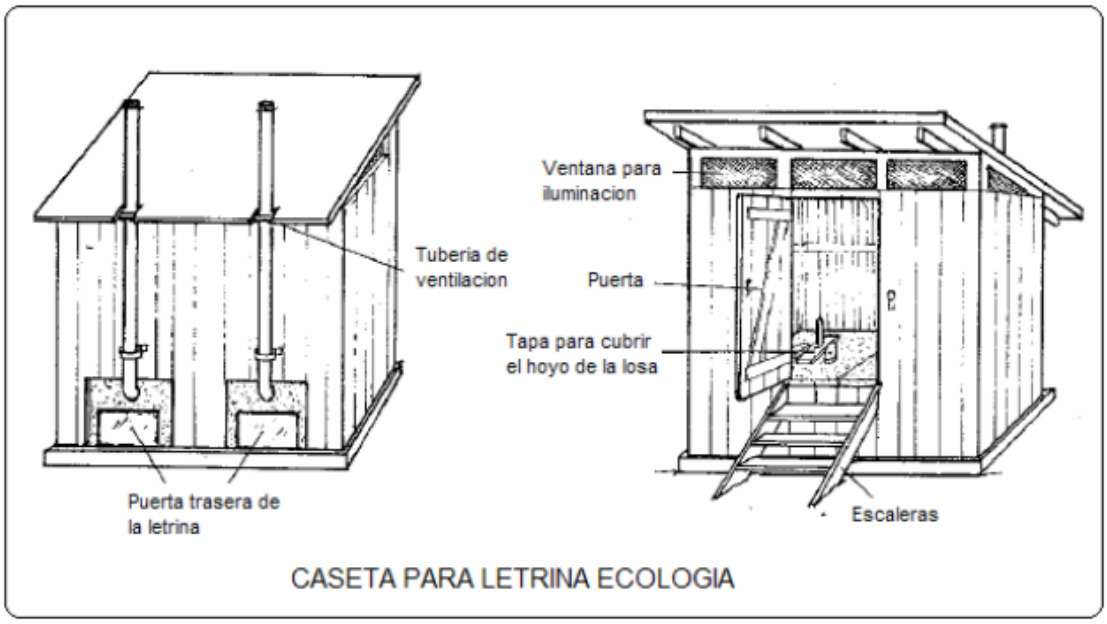
Gráfico 11. Diagrama de la losa y cámara



Caseta

- Normalmente las casetas se construyen sobre ambas cámaras, con un agujero agazapado sobre cada cámara acorazada.
- Una tapa se debe colocar en el otro agujero cuando no se está utilizando para la defecación.
- Las tuberías del respiradero se pueden proporcionar para evitar losolores, aunque cubrir las heces con la ceniza pueden ser suficiente para eliminar malos olores.

Gráfico 12. Diagrama de la caseta



Dependiendo del clima, la altura de la caseta podría ser:

Altura (parte frontal): 2.10m
Altura (parte posterior): 1.90 m
Tubo de PVC ϕ 4” : 2.50 m

Gradas con secciones de 0,25 m de ancho y 0,20 m de altura.

Puerta: La construcción de la puerta deberá seguir las siguientes consideraciones:

Ancho: 0,70 – 0,90 m
Altura: 1,60 – 1,80 m (está sometido a las dimensiones de la caseta).
Materiales: cuando la puerta sea de madera, lámina o materiales similares se debe adaptar a las medidas especificadas anteriormente.

Techo: El techo debe seguir las siguientes especificaciones:

Deberá contar con una ventana en la parte superior para la ventilación.
Deberá dejarse un alero de 0,30 m en la parte frontal de la letrina y 0,30 m en los laterales.

Aparato sanitario

Materiales: para el modelo a desarrollar se utilizará:

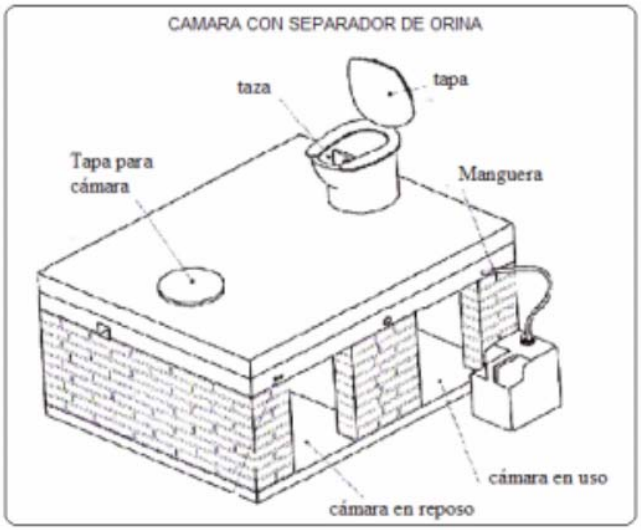
Un bote de 20 litros aproximadamente.
Tablas de madera.
Asiento y tapa.

Se construirá una caja base con la madera de las siguientes dimensiones: 50 cm x 45cm x 40 cm.

Se dejará un orificio a uno de los bordes de los lados de la caja para el bote (este orificio dependerá de las dimensiones del bote, se recomienda un diámetro de 0,25 m. aproximadamente).

El aparato sanitario tendrá un separador de orina, la cual conectará la taza con un recipiente que se encuentra en el exterior del baño, por medio de una manguera instalada previamente.

Gráfico 13. Tipos de cámara



Ventilación

La ventilación se construye para evacuar los malos olores en las cámaras y además para evitar la entrada de los insectos.

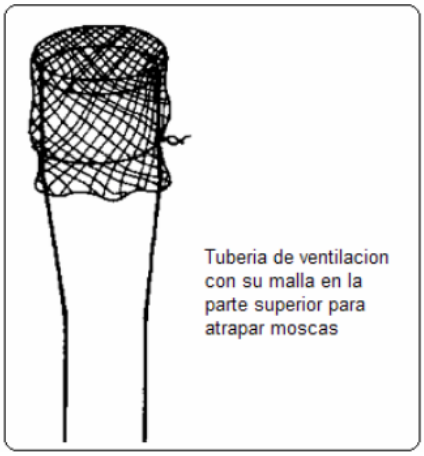
Ubicación: se deberá ubicar en la parte posterior de la caseta afianzándose con el tubo a la pared vertical de la caseta por medio de dos abrazaderas o similares.

Materiales: para la ventilación se recomienda usar una tubería de 4”de diámetro.

Longitud: el tubo de ventilación debe tener una longitud tal que permita sobresalir un mínimo de 10 m. de la sección superior del techo de la caseta.

Para eliminar los malos olores y los insectos, se debe colocar en la parte superior del tubo un sombrero de ventilación o también puede ser un codo de 60º, con un malla o cedazo que puede ser de color blanco o amarillo, a fin de que el color no obstruya el brillo producido por el sol, a efecto que los insectos busquen una salida por ese conducto. Debemos garantizar que la malla esté bien sujeta al tubo.

Gráfico 14. Malla para ventilación



4. Tecnologías Complementarias Para el Uso del Agua

4.1. Sistema Solar de calentamiento del Agua por Goteo para Mejorar los Hábitos de Aseo en Escuelas Rurales

Vista panorámica del sistema instalado

Las condiciones climatológicas en la zona alto andina ubicada a más de 3,500 msnm, caracterizada por el intenso frío impide adoptar el baño corporal, como una práctica cotidiana a nivel de las familias y especialmente en la población escolar. La temperatura en la sierra andina oscila alrededor de 10ºC, factor importante que influye en una baja práctica para el aseo personal, por otra parte el precio alto de los combustibles y de la energía eléctrica así como de los aparatos convencionales de calentamiento del agua doméstica, dificultan la posibilidad de que el poblador rural cuente con este servicio y mucho menos la población infantil.

Una de las enfermedades más comunes entre los niños en edad escolar son las enfermedades de la piel, éstas se originan en gran parte por las inadecuadas condiciones sanitarias y las deficientes conductas en higiene y aseo personal.

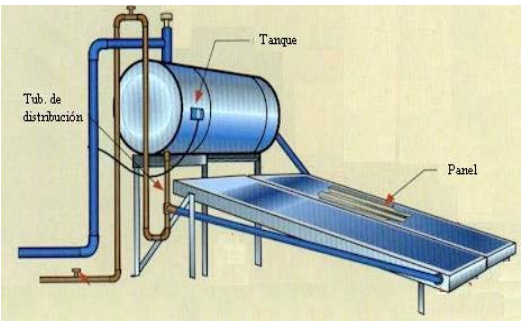
Las acciones sobre higiene en las escuelas, se han orientado básicamente a conseguir que el lavado de manos sea la práctica más accesible, facilitada por la implementación de módulos sanitarios construidos en las instituciones educativas. Por esta razón, desde el Proyecto SANBASUR, en su fase de trasferencia a la Dirección Regional de Vivienda Construcción y Saneamiento del Cusco, se ha desarrollado nuevas experiencias para dotar de agua caliente a estos módulos sanitarios, utilizando la energía solar como fuente generadora de calor.

Esta opción tecnológica es adecuada a la zona rural para ser implementada en pequeños módulos sanitarios en las instituciones educativas, facilitando de esta manera la educación para el aseo personal en los niños y niñas

a) Antecedentes de la Innovación

Los sistemas convencionales con calentadores solares, en algunos casos no han sido adecuados para las condiciones de uso en el medio rural, teniendo aún un costo alto y capacidades limitadas para su operación y mantenimiento, siendo muchas veces robados o deteriorados por el nivel de exposición en que se encuentran instalados.

Estos sistemas están compuestos por un colector solar plano, por donde circula el agua y permite capturar el calor, el agua caliente se almacena en un termotanque, y en un sistema de tuberías por donde el agua circula. Mediante el efecto termosfónico, se provoca la circulación natural, sin necesidad de bombeo, mediante la diferencia de temperaturas entre el agua fría (más pesada) y el agua caliente (más ligera).



Esquema de un calentador convencional con panel y tanque

Las primeras experiencias se desarrollaron en colaboración con la Asociación Comunidad en Vida[6], consistieron en un sistema seriado con paneles solares armados artesanalmente, con paso de captación de calor solar para temperar el agua de uso sanitario, con una cubierta de vidrio y dimensiones de 24 cm de ancho, 240 cm de largo y 6 cm de espesor, conectados en serie con una tubería de ½".

Estos paneles en serie (04 paneles por módulo), fueron diseñados para garantizar durante el período de insolación habitual, entre las diez de la mañana y las dos de la tarde, un flujo de agua suficiente para los fines de aseo en el colegio. Este suministro no contempló un mecanismo de amortiguamiento de la temperatura a través de un tanque de almacenamiento (termotanque) reduciendo de esta manera los costos.

Vista panorámica del sistema con paneles solares artesanales.

Sin embargo, la experiencia con este sistema presentó algunos inconvenientes en el funcionamiento, en zonas donde las heladas en la madrugada congelaron las tuberías con agua y produjeron reventones en el sistema de circulación dentro de los paneles, teniendo que adecuarse la instalación para evitar que el agua permanezca estancada en la tubería durante las noches.

A partir de estas experiencias y buscando optimizar aún más los costos y la eficiencia en el funcionamiento del sistema, se experimentó con una nueva opción tecnológica adaptada a las condiciones locales, que aproveche la cobertura del techo existente en estos módulos sanitarios, es decir las planchas galvanizadas de calamina para poder transferir el calor.

[6] Organismo No Gubernamental que trabaja temas de desarrollo comunitario en el Valle Sagrado de los Incas – Cusco.

b) Características del sistema solar de calentamiento del agua

El diseño está previsto para aprovechar la energía solar al máximo posible para calentar el agua en el período escolar (marzo-diciembre); en la sierra tenemos una radiación solar intensa entre los meses de mayo a octubre, esto representa casi dos terceras partes del período escolar, tiempo suficiente para implementar un sistema de calentadores instantáneos, utilizando la misma infraestructura de cobertura del módulo sanitario escolar.

El método utilizado en la investigación fue el experimental, realizándose distintas pruebas para optimizar el funcionamiento del calentador y así obtener un prototipo idóneo que satisfaga los objetivos esperados. Las técnicas empleadas correspondieron a una colecta de datos en base a la observación experimental, para su posterior procesamiento.

El principio básico utilizado en la idealización del modelo es la transferencia de calor, es decir cuando la radiación solar es absorbida por el sistema, se transforma en calor, o sea, se calienta, pero posteriormente éste se enfría cuando le pasa calor al fluido o agua en movimiento que lo rodea (por convección) y por la emisión al exterior (por irradiación). Esto influye a que el sistema dependa en su eficiencia directamente de la insolación al momento de su uso, sin embargo, está garantizado aún durante fases de nublado, un calentamiento del agua que la hace agradable para el aseo y baño corporal.

La temperatura media del agua fría en nuestra zona es de 15ºC, se busca llegar a temperaturas superiores a los 28ºC para incentivar el aseo corporal, mediante el uso de las duchas. Para iniciar la investigación se construyó un prototipo de techo, similar en cuanto a sus características tanto en materiales, geometría e instalación (pendientes), a los construidos en los módulos sanitarios pequeños de las instituciones educativas, con cobertura en base a planchas galvanizadas de zinc (calaminas), buscando obtener la máxima temperatura en el agua así como el mayor caudal posible durante las horas de insolación solar.

Muestreo de la temperatura

Previamente se diseñó un sistema que garantice una adecuada distribución del agua en la parte alta del techo, de tal manera que cada canaleta cuente con un abastecedor independiente a manera de goteo, para que posteriormente el agua recorra por cada hendidura en la plancha de calamina (canaleta).

Dispositivo de distribución del agua fría

Para conseguir este dispositivo se instaló un alimentador principal con una tubería PVC SAP de ½", a partir de la cual se instalaron alimentadores secundarios independientes para cada dos planchas (calaminas), haciendo coincidir el ingreso del agua mediante un orificio de 1 mm a cada canaleta, contando además este alimentador con una válvula esférica en PVC de control para regular y garantizar una distribución uniforme en el sistema.

c) Proceso de validación de las duchas con sistema solar

Primera prueba: Se hizo circular al agua directamente sobre el prototipo de calamina pintado de color negro con anticorrosivo, de tal manera que cada canaleta cuente con un pequeño chorro tipo goteo.

Primer prototipo

Las mediciones de la temperatura se efectuaron en la parte baja una vez recolectado el fluido. Permitieron llegar a una temperatura inicial máxima de 34ºC, luego de 10 minutos el sistema se enfrió, logrando calentar 40 litros de agua, cantidad suficiente para el baño de máximo uno a dos niños, siendo este un resultado nada favorable para el diseño.

Segunda prueba: Se incluyeron modificaciones al sistema para que el tiempo de recorrido de las gotas de agua en el techo sea mayor. Para lograr este objetivo se colocaron difusores de velocidad[7], construidos originalmente con tecknopor y colocados en las ranuras de las planchas de calamina a una distancia de 30 cm. Se obtuvieron temperaturas iniciales de 35ºC, luego de 15 minutos la temperatura bajó a 20ºC, mostrando valores mínimos, calentando 60 litros aproximadamente, cantidad suficiente para bañar

Segundo prototipo con difusores

[7] Dispositivos construidos artesanalmente para represar el chorro de agua en la calamina para aumentar el tiempo de recorrido de la gota de agua en el techo y también aprovechar un mayor área de contacto entre la superficie caliente en la plancha de calamina y el agua que se desplaza.

máximo a 3 niños.

Tercera prueba: Para estas pruebas los difusores hechos de tecknopor con baja transmisibilidad térmica, fueron remplazados por un material más económico y con mejores propiedades térmicas, fabricando difusores de mortero de arena y cemento (mezcla 1:2), pintados de negro, los mismos que fueron pegados en la plancha de calamina con silicona, espaciados en un primer momento cada 10 cm.

Adicionalmente, para mantener el sistema caliente, fue necesario aislarlo para disminuir las pérdidas de calor, por lo cual se colocó un aislante térmico debajo de las planchas de calamina, consistente en dos planchas de cartón prensado (el más grueso que existe en el mercado) y en la parte superior se instaló una cubierta de vidrio semidoble, que por sus propiedades especiales es casi transparente a la radiación solar, tanto visible como infrarroja y sin embargo es opaco a la radiación infrarroja lejana que emite el cuerpo calentado, o sea, actúa como una trampa de calor, mediante el llamado efecto invernadero.

Se obtuvieron temperaturas iniciales de hasta 51ºC, durante la media hora de funcionamiento y temperaturas mínimas de 28ºC, hasta que el sistema se apagó.

Prototipo con difusores de tecknopor espaciados cada 10 cm

Prototipo con difusores de mortero de cemento espaciados cada 5 cm

Cuarta prueba: Las temperaturas alcanzadas en las anteriores pruebas confirmaron los buenos resultados, para optimizar aún más el sistema se realizaron variaciones en el espaciamiento de las presas (difusores) instalados en las planchas de calamina, llegando a una eficiencia óptima de separación de 5cm entre estos elementos como medida ideal, con lo cual se obtuvieron temperaturas que variaron entre 28ºC y 50ºC, durante las pruebas en gabinete, con una producción promedio de agua caliente de 2.5 lt./minuto, estando el sistema en funcionamiento permanente durante las horas de sol, de tal manera que el volumen total producido sería capaz de abastecer las necesidades de baño de hasta 40 niños.

Sistema de recolección del agua caliente

Quinta prueba: Con las características del último prototipo, se validó el modelo en campo, para lo cual se seleccionó un módulo sanitario pequeño en una comunidad cercana[8], en la cual se adaptó el sistema, obteniendo temperaturas entre 30ºC y 45º, con una producción promedio de 2.15 lt./minuto, estando el sistema en funcionamiento permanente desde las 12:00 horas hasta las 14:45 p.m.

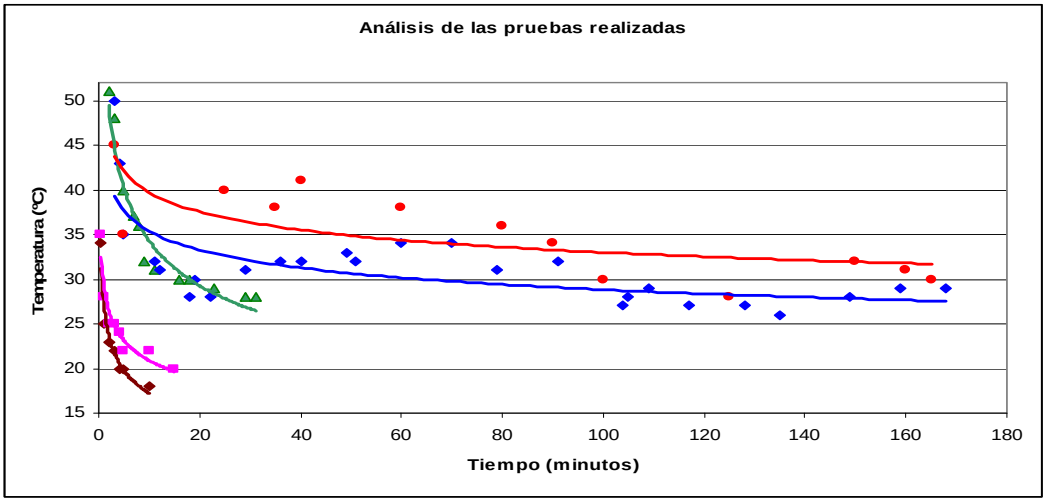
Recubrimiento de vidrio semidoble con unidades de 40cm*40cm

d) Análisis de las duchas con sistemas solar

Para observar de mejor manera la variación de la temperatura del agua, se tabularon los resultados y se realizó una regresión potencial, para estimar el comportamiento de la línea de tendencia del agua en el tiempo.

Se observa bastante aproximación entre los datos finales del prototipo en gabinete con la validación en campo, con lo cual consideramos que el sistema es apropiado y adaptable a las condiciones rurales, quitando la sensación de frío al agua y haciéndola agradable para el baño, así como por la producción de suficiente cantidad de agua caliente, la cual puede abastecer hasta a 40 niños por día, en condiciones de insolación normales.

Gráfico 15. Resultados de la variación de la temperatura



1ra Prueba
2da Prueba
3ra Prueba
4ta Prueba
5ta Prueba

[8] Comunidad de Chitapampa, Distrito de Taray, Provincia de Calca, Departamento del Cusco.

A continuación se aprecian las principales variables y resultados entre el prototipo en gabinete y la validación en campo.

Cuadro 5. Variables y resultados del análisis

Parámetro	Gabinete	Campo
Área utilizada m^2	10.08 m^2	9.00 m^2
Temperatura máxima (º C)	50 º C	45 º C
Temperatura mínima (º C)	26 º C	28 º C
Temperatura promedio (º C)	31 º C	35 º C
Rendimiento en lt/min	2.5 lt/min	2.15 lt./min
Rendimiento por área lt/hora/m^2	14.88	14.33

e) Costos de la ducha con sistema solar

El costo aproximado del sistema asciende a la suma de S/ 1,100.00 Nuevos Soles, considerando su instalación.

Cuadro 6. Materiales para instalar el sistema

Cant.	Und.	Descripcion	P.U.	Costo S/.
10	Und.	Listones de madera 2'X2'X2'	5.0	50.0
30	Und.	Cartón cartulina prensado Nº12	3.0	90.0
1	Kg.	Clavo para calamina	8.0	8.0
1	Kg.	Clavo para madera de 3'	4.0	4.0
0.5	Kg.	Clavo para madera de 1'	4.0	2.0
0.5	Gln	Pintura anticorrosiva de color negro	35.0	17.5
2	Gln	Thinner y/o aguarrás	15.0	30.0
54	Und.	Vidrio semidoble transparente de 0.40X0.40 m.	4.0	216.0
3	Und.	Silicona color negro Sika	4.0	12.0
1	Und.	Tubería PVC SAP C/R 1/2"	8.0	8.0
1	Und.	Tubería PVC SAP C/R 1/2"	7.5	7.5
7	Und.	Válvulas PVC Concysa 1/2"	7.0	49.0
5	Und.	Cintas Teflón	2.0	10.0
2	Und.	Tubería HIDRO 3 C/R 1/2"	12.0	24.0
3	Und.	Codo HIDRO 3 C/R 1/2"	2.0	6.0
10	Und.	Tapones PVC SAP C/R Hembra 1/2"	1.5	15.0
12	Und.	Tee C/R (interna) HIDRO 3 1/2"	2.0	24.0
2	Und.	Unión Universal HIDRO 3 de 1/2"	3.0	6.0
1	Und.	Tubería PVC SAP 2" C-7.5	25.0	25.0
1	Und.	Tapón PVC SAP 2" S/R	4.0	4.0
1	Und.	Codo PVC SAP 2" S/R	4.0	4.0
1	Und.	Reducción PVC 2"-1/2"	4.0	4.0
2	Und.	Lija para metal	3.0	6.0
1	Und.	Cabezal de ducha tipo regadera	17.0	17.0
1	Gln	Presas hechicas de mortero	40.0	40.0
1	Und.	Hoja de sierra sandflex	5.0	5.0
Total Nuevos Soles				S/. 684

f) Resultados de la Innovación

Esta experiencia ha permitido constatar que la tenencia y uso de estos servicios en la población escolar, ha generado los siguientes resultados:

- Los docentes han asumido el compromiso de promocionar el baño como una práctica de higiene personal en los niños y niñas, programando su realización por lo menos dos veces a la semana.

- Las condiciones de higiene y salud de los niños y niñas, han mejorado notablemente desde que disponen de este servicio. En una muestra del 30% de la población escolar en una IIEE, se inspeccionó las condiciones de higiene de niños y niñas, el 85% se encontraban en buenas y muy buenas condiciones de higiene.

- El baño total semanal, en esta población se incrementó de 0 a 1 vez, a 2 y 3 veces por semana.

g) Conclusiones obtenidas a partir de las experiencias

A partir de los resultados se evidencia la importancia de las duchas a energía solar como un elemento fundamental para la adopción de comportamientos sanitarios en la población escolar, respondiendo a las necesidades de los niños y niñas, docentes y familias rurales, para el logro de "competencias y aprendizajes" en saneamiento básico e higiene personal y ambiental, como son el desarrollo de habilidades, destrezas, actitudes y hábitos saludables, contribuyendo a mejorar su calidad de vida.

h) Recomendaciones en torno a la innovación

Para garantizar un funcionamiento eficiente se deberá tomar en cuenta estas recomendaciones:

- La cobertura preparada debe orientarse preferentemente hacia la zona de máxima insolación durante el día, teniendo una inclinación no mayor a 22º.

- En el colocado de las planchas de calaminas los orificios que dejan los clavos al ser instalados deberán ser perfectamente sellados, con la finalidad de que no produzcan filtraciones o goteras.

- Dado que las calaminas estarán expuestas constantemente a la humedad, para evitar que el pintado con anticorrosivo negro se descascare, es necesario quitar el galvanizado para conseguir una adecuada adherencia al momento del

Ducha en uso

pintado, para ello se realiza una limpieza a estas planchas con una mezcla de ácido muriático y agua, previo al pintado de negro.

- Una vez ubicadas las calaminas se instalan los difusores tipo “presitas“, en la parte acanalada, espaciados a una distancia de 5 cm entre cada uno. Para fabricar estos difusores se utiliza como molde el acanalado de una plancha de calamina, una vez secos y desmoldados, se pintan de negro y se instalan, utilizando silicona.

- La altura de los difusores (presitas) deberá ser inferior al lomo superior de las canaletas en las planchas de calamina, dado que si ésta fuera mayor, el agua que circula por las canaletas rebalsaría y humedecería el vidrio quitándole eficiencia.

- La superficie del vidrio instalada por encima de las calaminas, deberá sobresalir en la parte baja del perímetro del techo por lo menos 5 cm, con la finalidad de evitar que el agua de lluvia ingrese al sistema.

- El dispositivo de ingreso del agua al sistema, se opera desde el grifo de la ducha a partir de una llave de control, de tal manera que el agua ingresa y es distribuida por la parte alta del techo y se desplaza hacia abajo calentándose, siendo recolectada por una tubería seccionada a manera de canaleta de 2”y de allí se conecta a una tubería en PVC de ½” para agua caliente y luego directamente al cabezal de la ducha.

- De preferencia, todas las partes para la circulación del agua, serán construidas en material resistente al intemperismo y al calor, tuberías y accesorios para agua caliente (Hidro), pudiendo protegerse la tubería de ingreso y las válvulas de regulación con una pequeña cubierta de techo.

- El cabezal de la ducha debe ser del tipo regadera, es decir no estar diseñada para trabajar a presión, para facilitar un chorro adecuado al momento de su uso.

- En el caso de zonas con presencia de granizadas, se recomienda incrementar el espesor del vidrio o utilizar otro material más resistente (policarbonato) y trabajar con unidades de menor tamaño.

- Se prevé la instalación de uniones universales en el dispositivo de distribución del agua para facilitar el mantenimiento o cuando se produzca atoros en los orificios de salida del agua. Como medida alternativa en zonas donde la calidad del agua no sea la adecuada y se tenga arrastre de gran cantidad de partículas como limos y arenas, es necesario adicionar un pequeño filtro al ingreso del agua en el módulo sanitario para evitar la obstrucción del sistema de goteo.

- Es necesario efectuar regularmente la limpieza de los vidrios, desde el exterior ya que estos con el tiempo van perdiendo transparencia por la suciedad del ambiente, quitándole eficiencia al sistema.

5. Recomendaciones y Conclusiones

Las características del medio rural, constituyen un reto para quienes vienen haciendo intervenciones de agua y saneamiento en este sector. En este sentido, un portafolio amplio de opciones tecnológicas, validadas en campo, representan un activo valioso que debe ser difundido, para que las futuras intervenciones sean lo más eficientes posibles y permitan responder al reto que tiene el sector, de ampliar la cobertura de servicios de agua y saneamiento en el ámbito rural.

Las opciones tecnológicas varían de acuerdo al tamaño de la población, en lugares con alta densidad poblacional, se usan determinadas opciones tecnológicas, mientras que en poblaciones dispersas las características del lugar y la disposición de los recursos determina el uso de otro tipo de tecnologías, que incluso en algunos lugares son tan restrictivas que sólo se consigue usar técnicas de desinfección y almacenamiento del agua, dejando de la lado técnicas de disposición sanitaria de excretas y sistemas de agua potable.

En este sentido la **sostenibilidad** de los servicios de agua y saneamiento es un concepto que debe estar presente en la elección de la opción tecnológica, para que el sistema a ser implementado, esté acorde con las características del lugar y la disponibilidad de recursos para su implementación. Este hecho determinará una buena gestión de los mismos por parte de la OC en el futuro.

Un segundo aspecto que está relacionado con la sostenibilidad de los sistemas y la elección de la opción tecnológica adecuada, tiene que ver con la participación de la organizaciones comunales en todo el proceso de intervención, de esta forma se logrará familiarizar a todos los miembros de la OC con los componentes de la opción tecnológica elegida, así como con el correcto funcionamiento de los mismos, para que en el futuro la capacitación en administración, operación y mantenimiento que reciban, complemente los conocimientos adquiridos en el proceso de construcción de los sistemas de agua y saneamiento.

Las opciones tecnológicas de agua y saneamiento diseñadas para el medio rural, deben de ser diseñadas de tal forma que las organizaciones comunales puedan operar y mantener el sistema con facilidad, sin tener que recurrir a personal especializado y calificado, elevando el costo de mantenimiento de los mismos. En este documento, se presenta información de opciones validadas en campo por el proyecto SABA, en todas las comunidades donde se han implementado servicios, usando el modelo de integral de intervención de servicios de agua y saneamiento sostenibles.

Finalmente, se debe tomar en cuenta, que si bien la elección de una opción tecnológica adecuada a las características del lugar puede ser muy buena, no obstante, existe el riesgo de una falta de seguimiento y acompañamiento adecuado del sistema por parte de las OC y ATM determine un menor periodo de vida útil del mismo. En este caso la infraestructura colapsará y dejará de funcionar, antes de que se cumpla el periodo de vida útil previsto en el momento de la construcción, y pasará a formar uno

más de los cientos de sistemas que fueron implementados en el pasado y que hoy en día necesitan ser rehabilitados.

Bibliografía

Alvarado. B. (2010).*Tecnologías Apropiadas para Poblaciones Rurales Dispersas*. CARE. Lima.

Avila G. (1996). *Hidráulica General*.Edit.Limusa .

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS). (2003).*Diseño del Sistema de Calentamiento Solar de Agua*.Lima

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS). (2003).*Teoría para el Diseño de Calentadores Solares de Agua*.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS). (2003).*Estimación de la Radiación Solar*.

Daniel Cabrera y Javier Gil. (1996). *Sistemas Solares para el Calentamiento de Agua*. PROPER.GTZ Bolivia; abril.

Pacheco, H. (2010). *Compendio de Innovaciones Tecnológicas en Agua y Saneamiento validadas por el Proyecto SANBASUR*. Cusco.

Pacheco H. (2003).*Tecnología del Ferrocemento aplicada a Tanques de Almacenamiento de Agua*. Resumen de Taller SANBASUR.

R. Siegel, J R Howell.(1981).*Termal Radiation Transfer*. McGraw Hill, Nueva York.

Streter V. (1995).*Mecánica de los Fluidos*. Lima.

SANBASUR (1998).*Manual para la Elaboración de Expedientes Técnicos*.

Wakeman W. (1997).*ApropiateTecnologiesforWater Suply and Sanitation*.