



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza en el Perú

Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE

COMPENDIO de INNOVACIONES TECNOLÓGICAS en AGUA y SANEAMIENTO RURAL

Experiencias del Proyecto SABA Plus



COMPENDIO DE INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN AGUA Y SANEAMIENTO RURAL – EXPERIENCIAS DEL PROYECTO SABA PLUS

Esta es una publicación del Proyecto SABA Plus, gracias al apoyo técnico y financiero de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación – COSUDE.

COSUDE: Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación – Embajada de Suiza en el Perú

Martin Jaggi, Director de Cooperación Global

Cesarina Quintana, Oficial Nacional de Programa Senior - Programas Globales

Av. Salaverry 3240, San Isidro – Lima - Perú.

CARE PERÚ

Milo Stanojevich, Director Nacional

Lourdes Mindreau, Gerente de Programa Agua y Saneamiento

Av. General Santa Cruz 659, Jesús María, Lima - Perú.

PROYECTO SABA

Herberth Pacheco, Jefe de Proyecto

Ney Díaz, Jefe macro regional norte

Ediltrudis León, Jefe macro regional sur

Consuelo Álvarez, Responsable de Proyecto

Walter Cabrera, Responsable de Proyecto

Jorge Loayza, Responsable de Proyecto

Nilton Madera, Responsable de Proyecto

Nancy Málaga, Responsable de Proyecto

Juan Salazar, Responsable de Proyecto

Percy Suárez, Responsable de Proyecto

Roxana Alcos, Asesora de Proyecto

Carlos Calle, Asesor de Proyecto

Juan Pablo Giraldo, Administrativo de Proyecto

Lourdes Huamaní, Administrativa de Proyecto

Equipo Técnico Responsable de la elaboración y publicación del presente documento

Herberth Pacheco, Jefe de Proyecto

Ney Díaz, Jefe macro regional norte

Walter Cabrera, Responsable de Proyecto

Control y edición de texto

Zoila Cárdenas

Diseño y diagramación

Suárez Romero Giancarlo Niccolay

Primera edición, marzo 2018

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2018 - 04602

Se terminó de imprimir en marzo de 2018 en:

Sinco Industria Gráfica EIRL.

Jr. Huaraz 449, Breña - Lima, Perú / sincoindustriagráfica@gmail.com

Tiraje: 1 000 ejemplares

Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido del presente documento, siempre que se cite la fuente.

INDICE

Acrónimos	2
1. Introducción	5
2. Opciones tecnológicas innovadoras para el abastecimiento de agua potable	7
2.1 Innovaciones para estructura de captación y otros componentes	7
2.2 Tubo rompe carga en línea de conducción	11
2.3 Cámaras distribuidoras de caudal	15
2.4 Tecnología del ferrocemento para reservorios de almacenamiento de agua	23
2.5 Control de nivel estático en reservorios de almacenamiento de agua potable	39
2.6 Tecnologías de cloración en sistemas de agua rurales	42
2.7 Dispositivo flotador en cámaras rompe presión con boya	59
2.8 Calentadores solares para módulos sanitarios en escuelas	67
3. Opciones tecnológicas innovadoras para la eliminación de excretas	77
3.1 Sistemas para disposición de excretas con arrastre hidráulico in situ	77
3.2 Baños secos ecológico	98
3.3 Alcantarillado de pequeño diámetro	105
4. Referencias bibliográficas	115

ACRÓNIMOS

AOM	Administración, Operación y Mantenimiento
ATM	Área Técnica Municipal
AyS	Agua y Saneamiento
CDC	Cámara distribuidora de caudal
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
CRP T6	Cámara rompe presión tipo 6
CRP T7	Cámara rompe presión tipo 7
DS	Decreto Supremo
DPD	Dietil -p-fenilendiamina
DRVCS	Dirección Regional de Vivienda Construcción y Saneamiento
GIZ	Cooperación Alemana al Desarrollo
JASS	Junta Administradora de Servicios de Saneamiento
MINSA	Ministerio de Salud
MIDIS	Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social
mca	Metros de columna de agua
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
OCSA	Organización Comunal de Servicios de Saneamiento
PVC	Policloruro de vinilo
PROPILAS	Proyecto Piloto de Agua Potable Rural y Salud Comunitaria Rural
SABA	Modelo Integral de Saneamiento Básico Rural
SANBASUR	Proyecto de Saneamiento Ambiental Básico en la Sierra Sur
SAP	Sistema de Agua Potable
TEE	Accesorio Tee
TRC	Tubo rompe carga
UNT	Unidades nefelométricas de turbidez



1. INTRODUCCIÓN

La provisión de servicios básicos de calidad y sostenibles en el área rural constituye un reto para quienes vienen apoyando intervenciones integrales en agua y saneamiento. En este sentido, las opciones tecnológicas de abastecimiento de agua potable y eliminación de excretas, validadas en campo, tanto por profesionales y técnicos, representan un aporte valioso que debe ser difundido, con la finalidad de contribuir a incrementar los estándares de calidad en las futuras intervenciones y permitan responder a los desafíos que tiene el sector saneamiento para ampliar la cobertura de estos servicios en el ámbito rural.

El presente **“Compendio de Innovaciones Tecnológicas en Agua y Saneamiento Rural”**, tiene como propósito compartir un conjunto de opciones tecnológicas validadas, adecuadas e innovadoras en la implementación de sistemas de agua y saneamiento en zonas rurales del país. Esta recopilación, se realiza a partir del trabajo y las lecciones aprendidas del Proyecto SABA Plus, como resultado de la experiencia exitosa y aporte de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) a la gestión integral del saneamiento, orientado a contribuir en la mejora de las condiciones de salud y calidad de vida de la población rural más pobre del Perú.

Este documento brinda las pautas y sugerencias a fin de incorporar estas opciones tecnológicas adecuadas o apropiadas que demandan menores recursos de inversión, operación y mantenimiento, y un menor impacto sobre el medio ambiente, respecto a otras tecnologías convencionales. Estas pueden ser seleccionadas de acuerdo con las características del lugar y la disponibilidad de recursos que permitan su implementación y contribuyan a inversiones sostenibles en el ámbito rural que por larga data ha sido excluido, debido a inconvenientes tecnológicos identificados en su evaluación.

La estructura de este documento, consta de cuatro partes: la primera, está referida a la introducción; en la segunda parte, se describen las tecnologías de abastecimiento de agua para consumo humano. La tercera parte, hace referencia a las tecnologías adecuadas para la eliminación sanitaria de excretas. Finalmente, se incluye las referencias bibliográficas consultadas en torno al tema.

En el marco de investigación de diversas tecnologías apropiadas de abastecimiento de agua potable y servicios de saneamiento, este compendio es una herramienta técnica de consulta, útil para el sector y profesionales que formulan y ejecutan proyectos de saneamiento rural. Cabe indicar que estas innovaciones son propuestas que puedan replicarse a mayor escala con el respaldo de las normas técnicas del sector a través del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS).

2. OPCIONES TECNOLÓGICAS INNOVADORAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

2.1 Innovaciones para estructura de captación y otros componentes

En la estructura de captación de sistemas de agua potable, se recomienda tener las siguientes consideraciones:

a) En la zona exterior de la captación

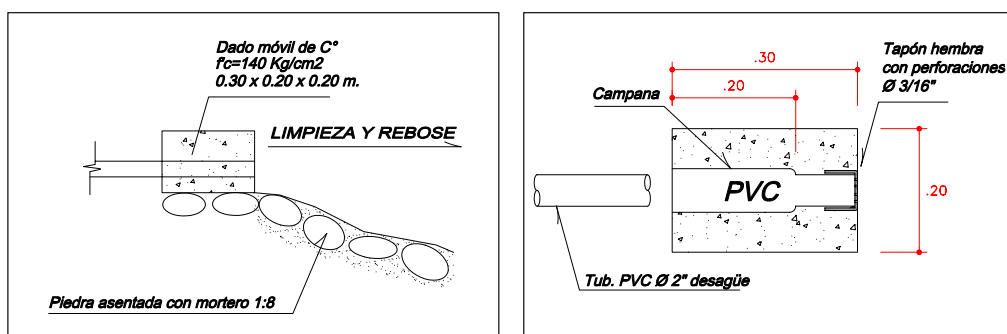
- **Cuneta de coronación**

Zanja que se construye en la parte alta y en el contorno de la estructura de captación con el objetivo de facilitar la evacuación del agua producto de la escorrentía, que se genera durante una precipitación pluvial. Su dimensión en promedio debe ser de 30 cm de ancho y 40 cm de profundidad. Se recomienda recubrir esta zanja con concreto simple o mampostería de piedra para evitar la filtración del agua a la zona de captación y la erosión del terreno.

- **Dado móvil**

Dispositivo de protección constituido por un dado de concreto simple, que lleva un orificio en su interior y un tapón perforado en uno de sus extremos, las dimensiones del dado recomendadas son de 20 cm x 30 cm. Este dado se coloca en la parte final de la tubería de desagüe en las siguientes estructuras: captaciones, cámaras rompe presión, reservorios y tiene por finalidad evitar el ingreso de animales pequeños e insectos a las cámaras húmedas de las estructuras indicadas.

La concepción del dado móvil, se debe a que este dispositivo puede retirarse fácilmente de la tubería de desagüe cuando se realice la limpieza y desinfección de las cámaras húmedas, para facilitar la evacuación del agua. En la base donde se apoya el dado, se coloca una pequeña losa de concreto o piedra asentada con mortero cemento:arena simple que permite el deslizamiento del dado cuando es removido.



Detalle del dado móvil



Estructura de captación y otros componentes.
SAP "El Choloque", Utco, Celendín – Cajamarca.

b) En estructuras de almacenamiento temporal de agua¹-cámaras húmedas de las estructuras en los sistemas de agua

- Tubo de rebose removible

Accesorio conformado usualmente por un tubo PVC de 2" y una reducción PVC de 4" a 2", que va empalmado a un codo en la parte de la base en la cámara húmeda y que se embona a presión. Este accesorio es removible, lo cual permite evacuar fácilmente el agua de la cámara húmeda luego de realizar la limpieza y desinfección de la estructura.



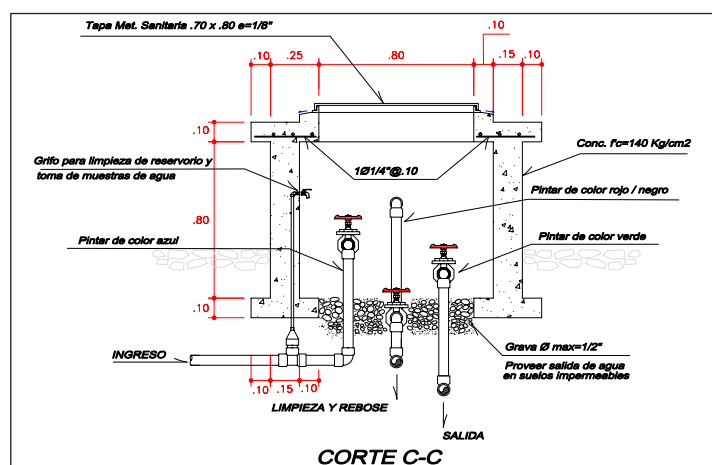
Captación: interior de cámara húmeda

¹ Cámaras rompe presión tipo 6 y 7, cámara húmeda en captación, cámara colectora, cámara repartidora de caudales.

c) En la caseta de válvulas del reservorio

- Grifo de enjuague

Instalación que se realiza en el interior de la caseta de válvulas del reservorio, consiste en la conexión de un grifo de $\frac{1}{2}$ " en la tubería de línea de conducción que ingresa al reservorio y va empotrada en un lado de la pared de la caseta. Este grifo tiene por finalidad facilitar las acciones de limpieza y lavado de las paredes interiores del reservorio cuando se hace la desinfección de la estructura. Se conecta una manguera al grifo y esta se lleva al interior del reservorio para su uso.



Detalle del interior de la caseta de válvulas en el reservorio



Caseta de válvulas del reservorio:
Grifo de toma de muestras de agua cruda y enjuague

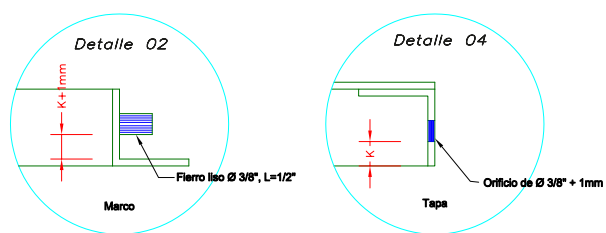
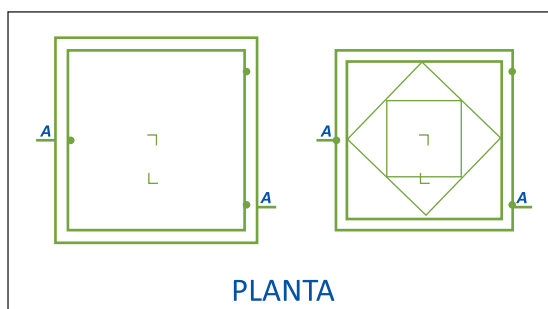
d) Tapas sanitarias metálicas

Son estructuras de metal que se utilizan para reemplazar las tapas de concreto que se usaban convencionalmente en las estructuras de los sistemas de agua potable. La particularidad de estas tapas es que son livianas y fáciles de manipular en comparación a las de concreto.

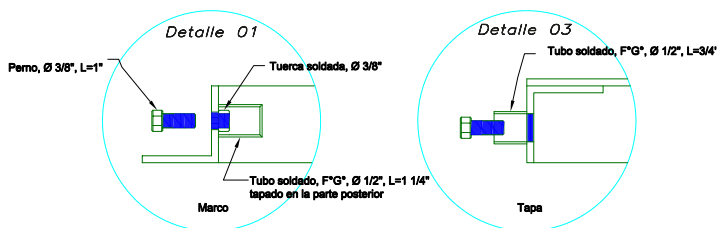
Se recomienda que estas tapas en el interior del marco lleven unos pines de metal, los cuales se insertan en el marco metálico que va empotrado en la ventana de ingreso de las estructuras (cámaras rompe presión, reservorios, cámaras húmedas de captaciones, etc.), permitiendo que la tapa al ser removida se retire en su totalidad. Así también, se deben reemplazar las tapas metálicas del tipo bisagra porque son susceptibles a la oxidación y manipulación periódica.



SAP "Chirigual", Asunción, Cajamarca – Cajamarca.



DETALLE DE PIN



DETALLE DE CERRADURA

Detalle de la tapa sanitaria

2.2 Tubo rompe carga en línea de conducción

a) Presentación

La innovación llamada tubo rompe carga se convierte en una opción tecnológica para reemplazar a las cámaras convencionales rompe presión tipo 6 (CRP-T6), cumpliendo la misma función, a un menor costo, siendo de fácil operación y mantenimiento, y que en muchos de los sistemas de agua potable por gravedad son necesarios a fin de disminuir la energía del agua en la tubería cuando está expuesta a fuertes presiones, producto del desnivel entre las captaciones de agua y la ubicación de los reservorios.

b) Antecedentes

La configuración topográfica en la zona sierra del país es agreste y de difícil acceso, por ello, diseñar sistemas de agua potable por gravedad es complejo debido a las características topográficas; en ese sentido, para conducir el agua de consumo humano desde fuentes ubicadas en la parte alta de una localidad, es necesario plantear un diseño hidráulico dentro de la línea de conducción que contenga cámaras rompe presión del tipo 6 (CRP-T6), estas no llevan válvulas flotadoras con la finalidad de disminuir la presión del agua dentro de la tubería, cuando el desnivel entre la ubicación de la zona de captación y el reservorio superan los 50 o 75 m.

Esta innovación tecnológica se ha implementado en proyectos de agua y saneamiento desarrollados por la COSUDE, a través del Proyecto PROPILAS en el departamento de Cajamarca.

c) Descripción de la tecnología

El tubo rompe carga (TRC) es una estructura de sustitución de la CRP-T6, ubicada en la línea de conducción, para reducir la presión mediante la disipación de energía y evitar el deterioro de las tuberías en condición estática, por efectos del desnivel existente. El TRC está conformado por un conjunto de accesorios de material PVC que van instalados en un tramo de la tubería en la línea de conducción y que ha sido ensanchada en dos a tres veces el diámetro inicial de la conducción. El TRC se ubica a cada 50 m de desnivel respecto a otras estructuras en la línea de conducción (captación, CRC, reservorio).

Los accesorios del TRC están constituidos por una Tee, codos, reducciones y tubería de PVC clase 10, que van empotrados en un dado de concreto armado, ello para evitar la vibración del dispositivo al producirse el resalto hidráulico del agua en su interior.

d) Criterios técnicos

La concepción del tubo rompe carga, se sustenta en los siguientes criterios:

- El flujo del agua dentro de la tubería en la línea de conducción es permanente y uniforme, de naturaleza turbulento, es decir, el número de Reynolds es mayor a 2000 ($Re > 2000$).
- El diámetro en la cámara de disipación de energía es mínimo, 2 veces el de la tubería de conducción. La velocidad del agua se reduce a la cuarta parte, pasando del flujo rápido (supercrítico), a lento (subcrítico), produciéndose un resalto hidráulico.
- El resalto hidráulico se desarrolla en $L = 6.9 (D2 - D1)$, por cuestiones constructivas se asume una longitud mínima de cámara disipadora de 1.25 m, donde $D1$ es el diámetro de la tubería en la línea de conducción y $D2$ es el diámetro de la tubería ampliada para disipar la energía que se produce.

Principios hidráulicos

- Pérdida de carga por accesorios.
- Contacto con presión atmosférica.
- Flujo libre.

e) Funcionamiento

- **En condiciones dinámicas**

El agua ingresa a la cámara de disipación, se produce la pérdida de carga e incorporación de aire a la masa líquida a través del tubo de ventilación; observándose en algunos casos, fuga esporádica de agua.

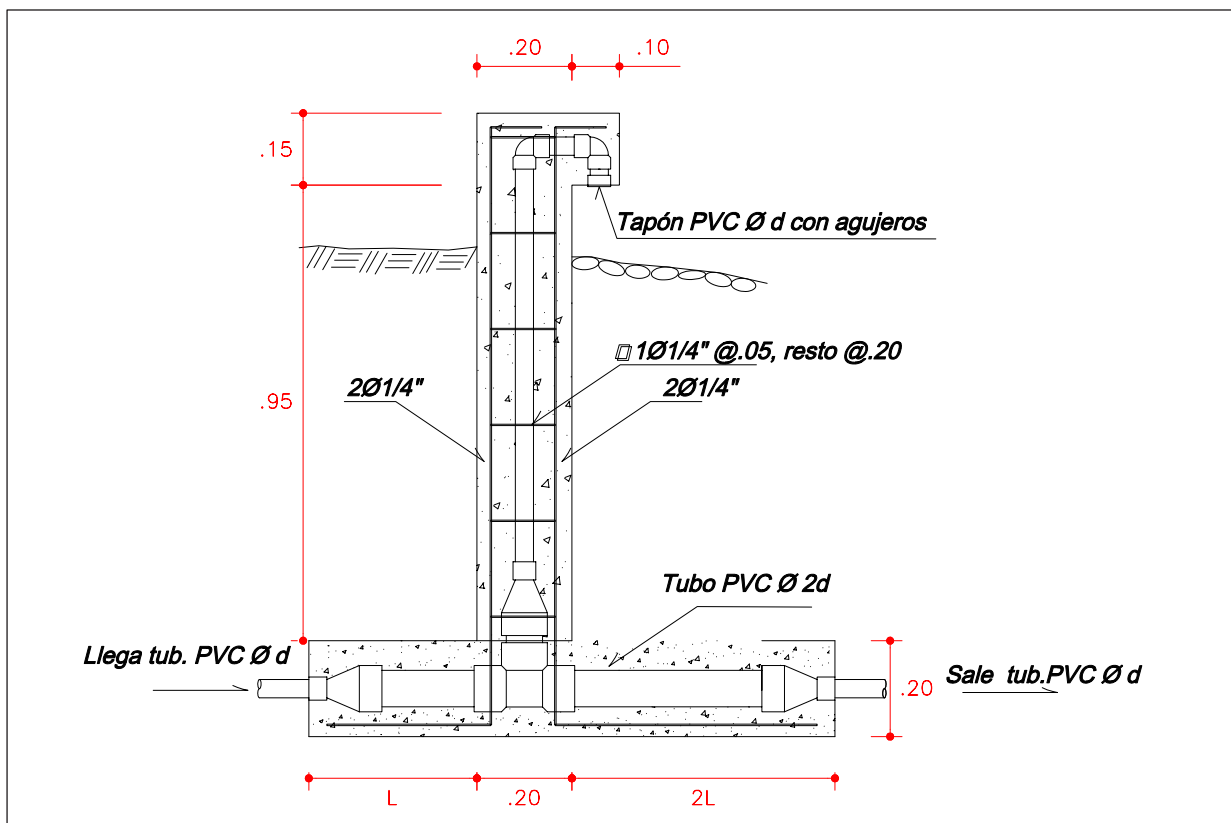
- **En condiciones estáticas**

Cuando aguas abajo se obtura el conducto, el TRC permite evacuar el flujo hacia un cauce seguro, esto evita que la tubería de conducción se sobrecargue por encima de su capacidad admisible o falle.

Una vez instalada la estructura, no necesita de ningún tipo de operación, solo requiere del desbroce de malezas y el pintado del pedestal.

f) Resultados y recomendaciones

- La reducción de costos de construcción del TRC con respecto a una CRP-T6 es inferior en un 67%, aproximadamente.
- El costo de la operación y mantenimiento del TRC es mínimo.
- Esta estructura es ideal ubicarla en tramos de línea de conducción donde la línea de gradiente hidráulico va casi paralela a la tubería y se tienen tramos con pendientes moderadas.



Esquema de un tubo rompe carga para línea de conducción



Proceso constructivo del tubo rompe carga



Tubo rompe carga terminado y en funcionamiento

COSTOS/ VENTAJAS/LIMITANTES



Tubo rompe carga

Costo promedio: S/. 200.00

Ventajas:

- Costo de operación y mantenimiento es mínimo
- Utiliza menor cantidad de materiales.
- Demanda menor esfuerzo en la construcción.

Limitante del tubo rompe carga:

Funciona eficientemente hasta un diámetro de tubería de 1.5" (línea de conducción).



CRP - T6

Costo promedio: S/. 1000.00

Desventajas:

- Necesita desinfección periódica.
- Requiere mayor cantidad de materiales.
- Demanda mayor esfuerzo en la construcción.

2.3 Cámaras distribuidoras de caudal

a) Presentación

Las cámaras distribuidoras de caudal (CDC) son estructuras pequeñas que contribuyen a optimizar la distribución de caudales de manera proporcional a la población, lográndose que cada zona se abastezca de la cantidad de agua que necesita, promoviendo la responsabilidad del buen uso del recurso agua.

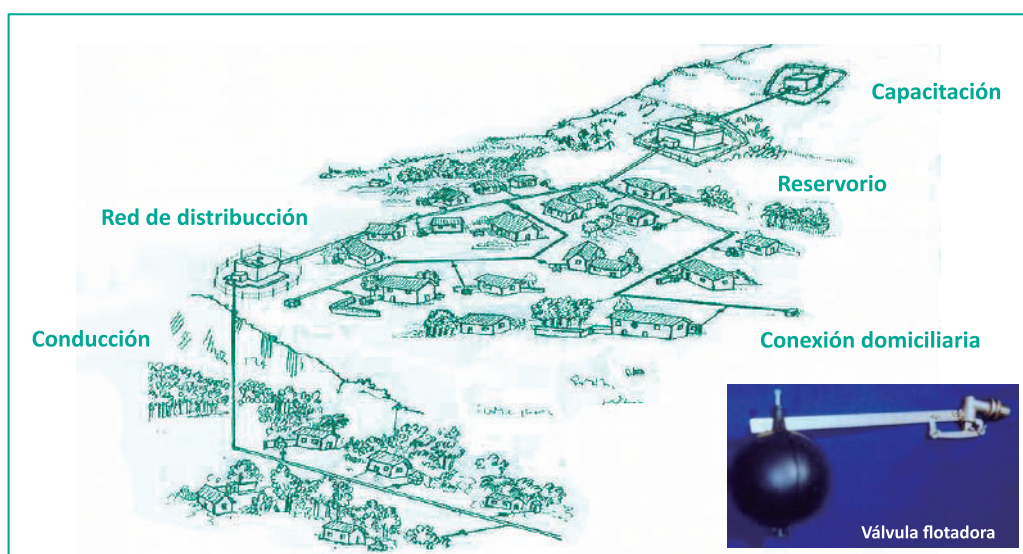
En la distribución de agua para abastecimiento humano, es tradicional utilizar cámaras rompe presión con boya CRP-T7, que han presentado inconvenientes en la poca durabilidad de la boya flotadora, teniendo que reemplazarlas periódicamente (en promedio cada 6 meses), lo cual ha originado que los sistemas de agua dejen de funcionar o de abastecer simultáneamente a toda una población asentada en zonas de ladera. La alternativa de reemplazo de las CRP-T7 son las cámaras distribuidoras, reduciendo conflictos de tipo social y haciendo más eficiente y equitativo el abastecimiento de agua a toda la población.

Para ello, es necesario dividir el área de influencia del proyecto en sectores y dotar a cada sector con un reservorio de regulación o de almacenamiento, tomando en consideración la topografía y cantidad de agua disponible en la fuente. En el caso de abastecer a más de una comunidad con el mismo sistema, cada localidad debe tener su propio reservorio de agua potable. Con la finalidad de lograr este objetivo, en el diseño se puede utilizar una cámara divisora o cámara distribuidora de caudales con vertedores o con tubos PVC, en los cuales se perforan unos orificios y se asegura la demanda de abastecimiento que cada sector requiere; por lo tanto, cada zona recibe un porcentaje del agua disponible, igual al porcentaje de la población total servida.

b) Antecedentes

Los diseños convencionales de abastecimiento de agua potable rural consideran el uso de cámaras rompe presión tipo 7 (CRP-T7). Durante muchos años se han destinado importantes montos de inversiones para abastecer con servicios de agua y saneamiento a poblaciones de ámbitos rurales, principalmente en zonas de sierra, haciendo uso de las CRP-T7.

Al realizar los diagnósticos de sostenibilidad de estos sistemas, se encuentra que la mayoría de estos fallan en la distribución, principalmente por el rápido deterioro de las válvulas flotadoras en las CRP-T7 (duran aproximadamente 6 meses).

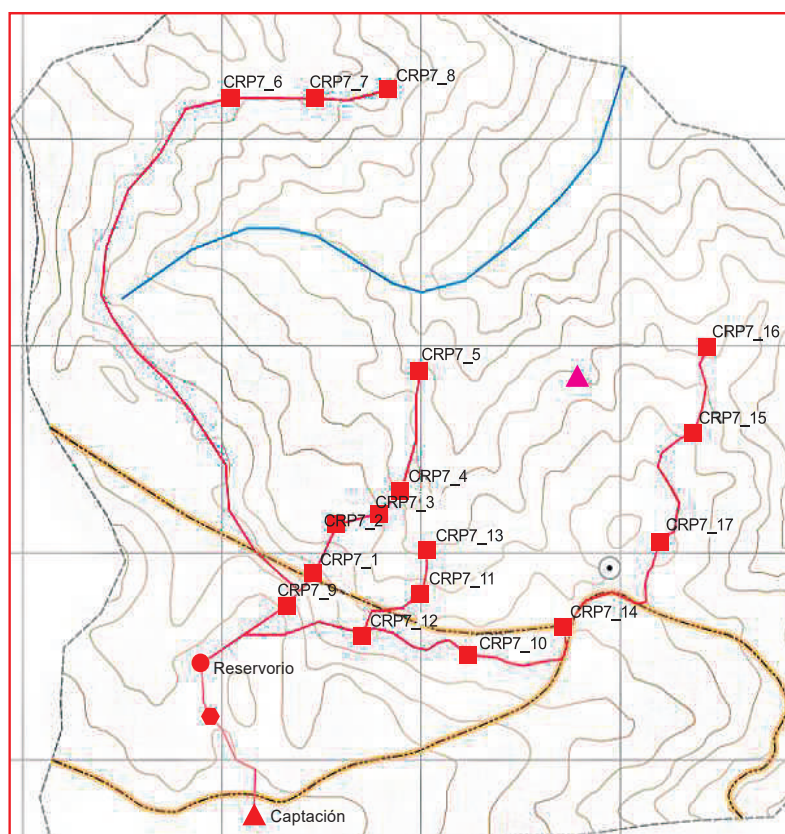


Diseño tradicional de sistemas de agua potable con CRP-T7

Cuando la boya de la CRP-7 falla, ocasiona problemas de abastecimiento de agua en la parte alta, desperdicio de agua que ocasiona mayores costos de producción, incrementa el costo de la cuota familiar (requiere la compra de mayor número de válvulas para reposición) y conflictos sociales al interior de las organizaciones comunales responsables de proveer el servicio. La inadecuada distribución del agua genera insatisfacción de los usuarios, lo cual repercute en el incremento de la morosidad, sobre todo en aquellas familias que se ubican en la parte alta de la comunidad.

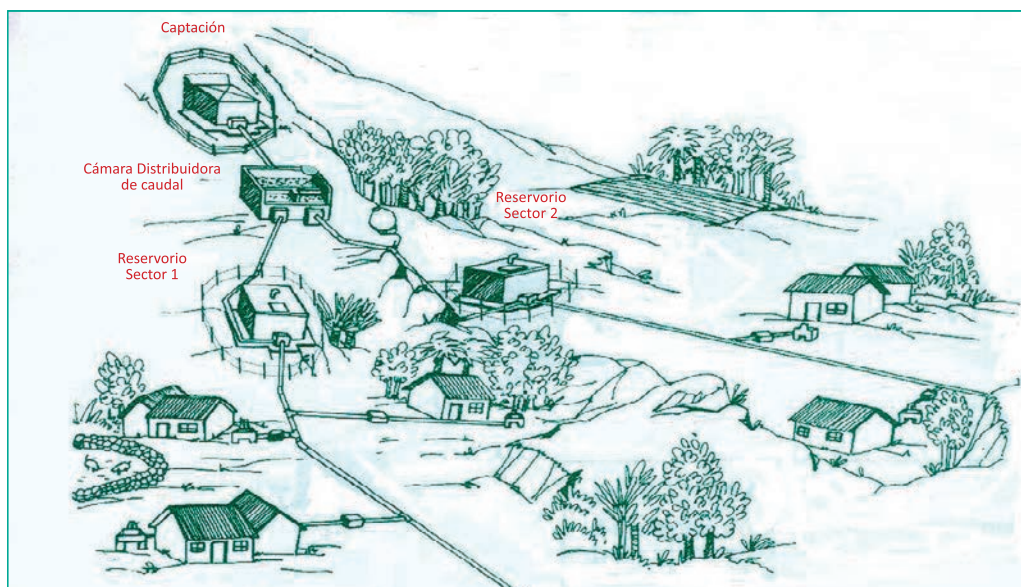
Son pocas las organizaciones comunales proveedoras de servicios de agua potable que tienen la capacidad económica para reponer válvulas deterioradas con mucha frecuencia. De hacerlo trasladan el costo de reposición, operación y mantenimiento al asociado o a los usuarios de los servicios de agua y saneamiento.

En el gráfico adjunto, se observa un caso de distribución convencional con CRP- T7. En este tipo de sistemas siempre resultan favorecidas en la distribución, las familias cuyas viviendas están ubicadas en las partes más bajas de la localidad, en el ejemplo las cercanas a las CRP-T7 N° 8, N° 5, N° 13 y N° 16. Cuando el sistema de agua potable está funcionando, primero se abastecen las familias de la parte baja, las demás tienen que esperar hasta que la tubería se llene y retorne el agua.



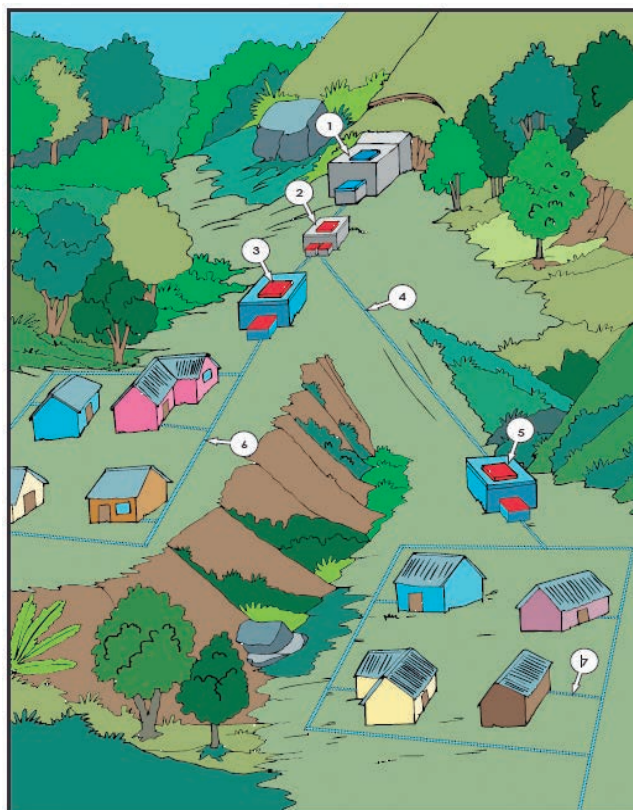
Diseño tradicional de un sistema de agua potable con CRP-T7

La alternativa a este planteamiento hidráulico, es la distribución del agua haciendo uso de las CDC. En el ejemplo, se tendría que hacer uso de CDC y de pequeños tanques de almacenamiento o regulación, tal como se observa en la siguiente imagen:



Esquema de cámara repartidora de caudales

Por otra parte, este criterio permite una mejor distribución de caudales, en forma simultánea y equitativa, acorde a los usos del poblador rural.



1. Captación, 2. Cámara distribuidora de caudales, 3. Reservorio parte alta, 4. Línea de conducción,
5. Reservorio parte baja, 6. Red de distribución parte alta, 7. Red de distribución parte baja

c) Descripción de la tecnología

Las cámaras distribuidoras de caudal son estructuras que se construyen de concreto armado, cuyas dimensiones o tamaño dependen de los diseños hidráulicos y del tipo de distribución que se desea aplicar, ya sea mediante vertederos o a través de tuberías y orificios circulares.

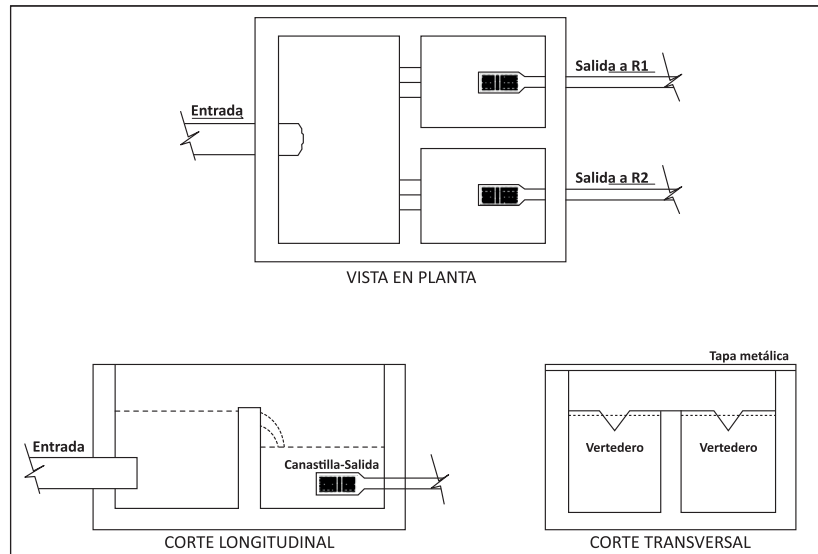
Un repartidor con vertederos es apropiado cuando se requiere distribuir caudales relativamente grandes. En el caso rural, los caudales para abastecimiento de agua son pequeños y se opta mayormente por repartidores con orificios circulares.

Aspectos técnicos

Cámaras distribuidoras de caudales con vertederos triangulares

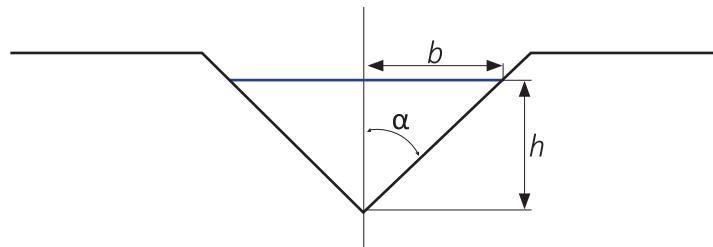
En este caso, se diseña y construye una caja de concreto con una sección donde ingresa el caudal a repartir proporcionalmente en dos o más partes. Esta sección se separa de las secciones de salida, mediante pantallas pequeñas de concreto, con aperturas de salida en forma triangular. Los vértices inferiores de los triángulos deben estar todos a un mismo nivel,

como se muestra en la figura adjunta:



Cámara distribuidoras de caudal con vertedero triangular

En el cálculo de los caudales se pueden utilizar las ecuaciones de los vertederos triangulares, donde las proporciones de la repartición del agua son dadas por los ángulos inferiores de los vertederos. Para lograr una cresta aguda puede utilizarse láminas delgadas de PVC (colocadas durante el vaciado de concreto), que ayuden a lograr una mayor precisión en mantener los mismos niveles y los ángulos del vertedero.



Una forma simple para el cálculo de "h", se puede usar la fórmula de Thomson, para un "α" de 22.5°:

$$Q=1.4h^{5/2}$$

Donde Q es el caudal en m³/s y "h" es la carga en metros. Despejando "h", se tiene:

$$h= \left(\frac{Q}{1.4} \right)^{1/2.5}$$

La altura "h" se puede lograr colocando un cono de rebose, cuyo borde esté a "h" metros del nivel inferior del vertedero.

En el caso de otros ángulos, habrá que utilizar las fórmulas que sugieren las referencias que se indican en la bibliografía

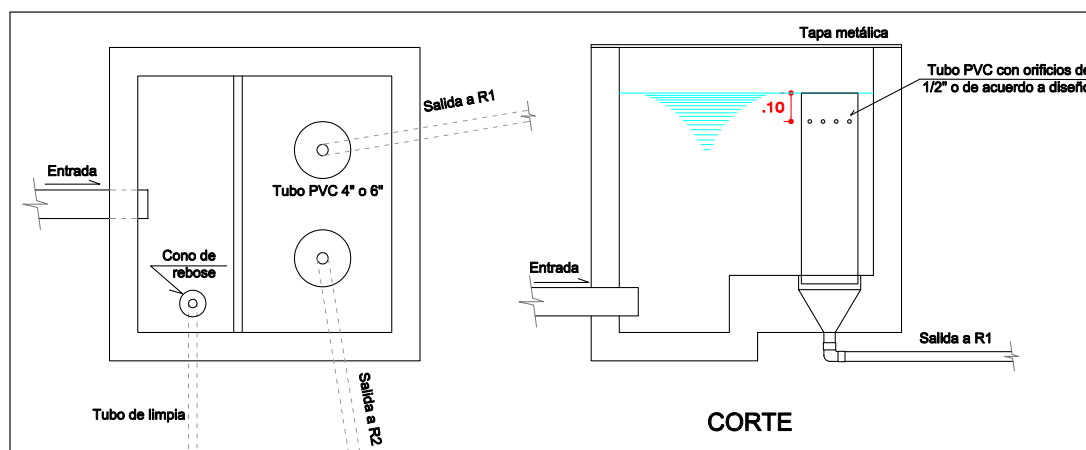


Vertedero triangular en funcionamiento

Cámaras distribuidoras de caudales con orificios circulares

En este caso se diseña y construye una caja de concreto, con una sección donde ingresa el caudal a repartirse proporcionalmente en dos o más partes. En esta sección, se instalan dos o más tubos que servirán para distribuir el agua.

En las tuberías se perforan orificios en tubos de PVC verticales "tipo chimenea" y que deben calcularse de acuerdo a la demanda de caudal máximo diario que requiere cada sector, tal como se muestra en el esquema adjunto:



Cámara distribuidoras de caudal con orificios circulares

En caudales de hasta 4 L/s, los orificios son perforados en tubos de PVC de 4" o de 6"².

² Anten, M., Villet, H. (2000). Diseño de pequeños sistemas de riego por aspersión en ladera (p. 47). SNV- PRONAMACHCS, Cajamarca.

Es preferible no pegar el tubo perforado a la unión/reducción en la base del tanque, para facilitar su remoción y operación y mantenimiento.

En forma similar a los vertederos, es necesario que las alturas de los orificios sean perfectamente iguales para lograr la proporcionalidad.

El número de orificios se puede disponer en 2 o más filas cuando sea necesario (depende del corte del tubo), siempre que se mantenga la proporción de los números de orificios de las salidas en cada fila.

El principio técnico es la descarga de agua a través de orificios sumergido y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Q = C_d * \frac{\pi}{4} d^2 * \sqrt{2g * h}$$

Donde:

C_d = coeficiente de descarga.

d = diámetro del orificio.

g = 9,8 m/s².

h = carga hidráulica.

Para el cálculo de C_d, se puede usar la tabla siguiente:

Valores de C_d como función de d, orificios con salida libre

Díámetro orificio (metros)	C _d (coeficiente de descarga)
0.020	0.61
0.025	0.62
0.035	0.64
0.045	0.63
0.050	0.62
0.065	0.61
> 0.075	0.60

Fuente: Anten, M., Villet, H. (2000). Diseño de pequeños sistemas de riego por aspersión en ladera

Orificios de ½" (12 mm) sumergidos 0,1 m tienen una descarga de aproximadamente 0,1 L/s. Esto se logra acondicionando el borde del cono de rebose en la cámara distribuidora.

Existen otras formas prácticas de distribuir el caudal, utilizando tubería PVC de diferentes diámetros adosadas a la pared interior, tal como se muestra en la figura adjunta:



Vertederos de sección circular

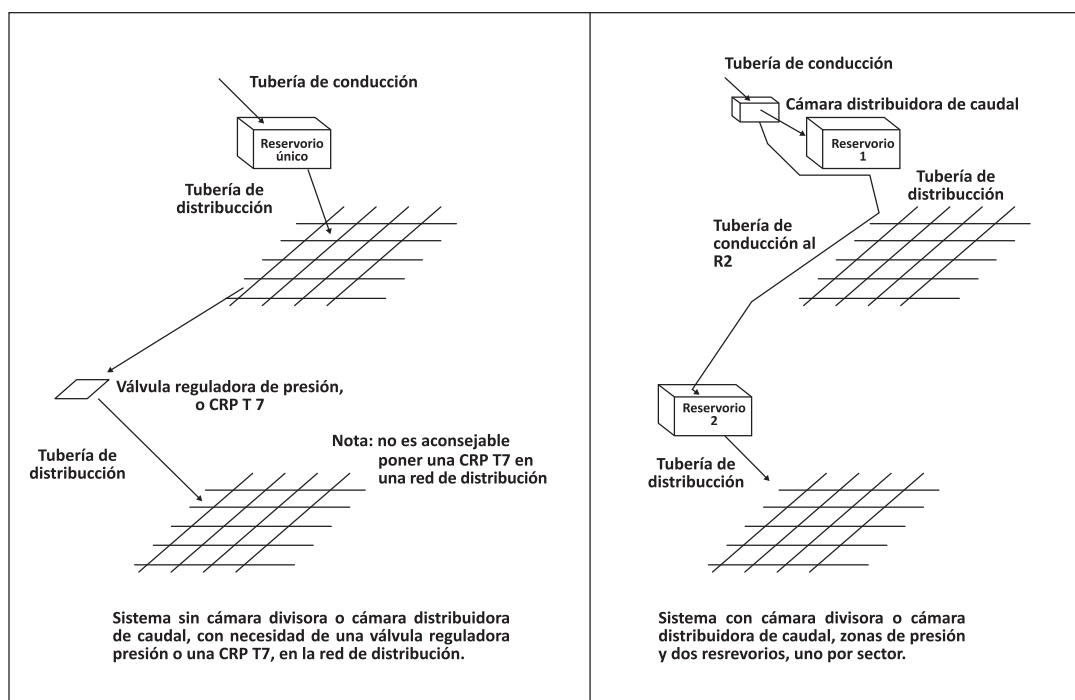


d) Principales ventajas

En el caso del repartidor por orificios, además de ser una solución relativamente flexible, el costo es bajo porque las dimensiones de los tanques son reducidos.

La repartición mediante orificios tiene la ventaja de ser un mecanismo automático de utilidad para los usuarios, existiendo la opción de que la organización comunal pueda modificar el número de orificios, en el caso de producirse cambios en la repartición del agua. En la modificación de un vertedero, la intervención de un ingeniero siempre es necesaria³.

Cuando por algún motivo, la repartición tiene que ser cambiada posteriormente, los mismos usuarios podrán realizar los cambios con la ayuda de un gasfitero que puede perforar los orificios. Aquellos orificios que están demás pueden ser tapados temporalmente o permanentemente.



En la figura mostrada, además de proporcionar un mejor funcionamiento, en el mediano y largo plazo resulta más económico usar una cámara distribuidora de caudal y dos tanques de almacenamiento o regulación.

2.4 Tecnología del ferrocemento para reservorios de almacenamiento de agua

a) Presentación

Hoy en día, la tendencia general en el uso del hormigón armado busca mejorar los indicadores técnico-económicos de la tecnología del ferrocemento, así como la creación y mayor aplicación de nuevos elementos estructurales que se distingan por su menor peso propio y gasto en materiales, respectivamente.

³ Anten, M., Villet, H., op. cit., p. 43.

Es necesario buscar nuevas alternativas de construcción en las que se reduzcan también los costos de materiales y mano de obra, sin poner en riesgo la calidad y durabilidad de las estructuras.

En tal sentido, el ferrocemento responde a esta necesidad como una tecnología que consiste en un mortero de cemento de espesor delgado reforzado con acero de pequeño diámetro y utilizándose mallas para permitir la adherencia del mortero en ambos lados de la placa; estas placas serán aplicadas en la construcción de tanques de almacenamiento de agua en zonas rurales de difícil accesibilidad donde existe disponibilidad de materiales locales. Si bien, el uso del ferrocemento ha sido poco difundido en nuestro medio, tiene ventajas sobre el concreto armado de uso convencional, especialmente en lo referido a los costos de construcción y tiempos de ejecución.

b) Antecedentes

Antecedentes históricos en el mundo

La historia del ferrocemento se remonta al año 1848, fecha en la que Joseph Louis Lambot construyó varios botes de remos, maceteros, asientos y otros artículos con un material que llamó "Ferciment" obteniendo la patente en 1852.

A principios de los años cuarenta, el italiano Pier Luigi Nervi, rescató la idea original de Lambot, al observar que reforzando el concreto con capas de malla de alambre, se obtenía un material que presentaba las características mecánicas de un material homogéneo equivalente y que demostraba tener gran resistencia al impacto. A través de una serie de pruebas, Nervi estableció las características preliminares del ferrocemento. Procedió a diseñar y construir diversas techumbres que se conservan hasta nuestros días como modelos racionales y estéticos del diseño estructural. Después de la Segunda Guerra Mundial, Nervi utilizó este material para construir barcos de poco tonelaje, siendo el mayor de estos el velero de motor "Irene" de 165 toneladas (t) con un casco de 3.6 cm de espesor y con peso 5% menor que el de un casco similar de madera con un costo 40% inferior en esa época.

En 1958, se construyó en la Unión Soviética la primera estructura de ferrocemento con techo de bóveda sobre un centro comercial en la calle Reshetnikov en Leningrado. La mayor parte de estas estructuras tienen claros libres desde 24 a 30 m con techos de ferrocemento de aproximadamente 1 cm de espesor. Estas gigantescas estructuras se usan en auditorios, salas de exhibición, centros comerciales, restaurantes y bodegas para productos y maquinaria agrícola. El interés por el ferrocemento fue tan grande que en 1968 Richard Hartley formó la New Zealand Ferro Cement Marine Association (NZFCMA) con el apoyo de las personas de Auckland, quienes tenían interés en el sostenido desarrollo del ferrocemento. El propósito principal de la Asociación era mejorar, fomentar y alentar la construcción marina a base de ferrocemento.

En 1972, la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos llevó a cabo una reunión de expertos a fin de discutir respecto al uso del ferrocemento, identificando a este como un material de tecnología apropiada inadvertida, con amplio potencial de aplicaciones especialmente en los países en desarrollo. Como resultado de este informe, muchas personas que desconocían su uso, se han dedicado a utilizarlo con éxito considerable.

A principios de 1977, el American Concrete Institute (ACI) estableció el comité 549 sobre ferrocemento, para revisar el estado actual de la tecnología y formular un reglamento de práctica respecto a este material.

Actualmente, el ferrocemento es un material versátil de construcción, tiene buenas perspectivas y definitivamente encontrará mayores aplicaciones en un futuro cercano, siendo utilizado en varios países vecinos.

Antecedentes en el Perú

En enero de 1998, FONCODES, con el auspicio del Programa de Agua y Saneamiento PNUD/Banco Mundial, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS), organizó un Taller de Tecnologías Apropriadas para el Saneamiento Rural en Cieneguilla, Departamento de Lima, en el cual se presentó el Documento Técnico NO-03-NT-Proyecto WASHED, realizado por el Ing. Remington Pin Silva; así como, las experiencias en el Ecuador (presentadas como documento de discusión), realizadas por el Ing. Carlos Ibarra, orientado a la construcción de tanques de almacenamiento de agua potable con ferrocemento.

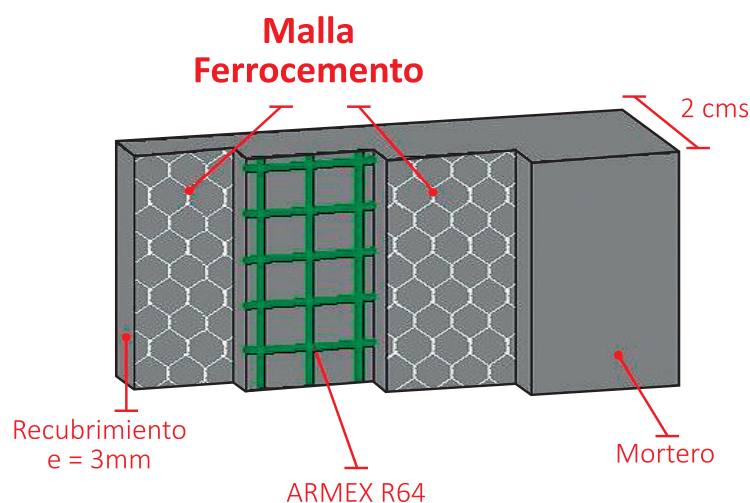
En el año de 1998, SANBASUR, proyecto de la COSUDE, institución dedicada a la promoción y financiamiento de proyectos de saneamiento básico rural, basa sus estudios en esta tecnología e implementa algunos de sus proyectos en comunidades altoandinas con este nuevo material. Paralelamente, la ONG ProAnde en Andahuaylas desarrolla también sus primeras experiencias con la construcción de pequeños tanques utilizando esta tecnología.

En los siguientes años, en varias regiones del país se viene replicando de manera experimental, la construcción de tanques de almacenamiento con ferrocemento, siendo el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), un actor público y normativo el facilitador de varios cursos de capacitación y experiencias piloto con esta tecnología, buscando motivar y fomentar la construcción de tanques de almacenamiento del agua para el medio rural y normalizar las consideraciones y criterios de diseño.

c) Descripción de la tecnología

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, lo cual permite disminuir de forma notable las dimensiones de la 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: *"Un tipo de concreto armado de pared delgada reforzada donde 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"*.



d) Materiales constitutivos del ferrocemento

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

El agregado fino, es el más usado en el ferrocemento. Debe estar limpio, duro, fuerte, libre de las impurezas orgánicas y relativamente libre de limos y arcilla; y estar inerte con respecto a otros materiales usados. La arena debe ser graduada con una fineza que pase el 100% del cedazo normal N° 8.

Algunas recomendaciones deseables del agregado fino:

El tamaño del cedazo	El paso en porcentaje (%)
N° 8	80 - 100
N° 16	50 - 85
N° 30	25 - 60
N° 50	10 - 30
N° 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 Portland, arena y agua, pudiendo eventualmente contener aditivos que mejoren sus cualidades. El peso específico de esta mezcla no debe ser menor de 1800 kg/cm³. 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. En 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. Es de diferentes tipos y está disponible en varias presentaciones, consiste en alambres delgados, tejidos o soldados en una malla; no obstante, 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 solo, 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 10 mm y no debe ocupar en su conjunto más de la mitad del espesor del elemento.

e) Diseño estructural

Consideraciones sobre el 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 en tanques de pequeño volumen de 5 a 20 m³, que corresponden a la mayoría de tanques que se construyen en las comunidades de la sierra. Algunas de las fórmulas para el diseño son mostradas a continuación:

Espesores mínimos

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

$$e_{\text{piso}} = 1.7453D$$

$$e_{\text{techo}} = 1.745D$$

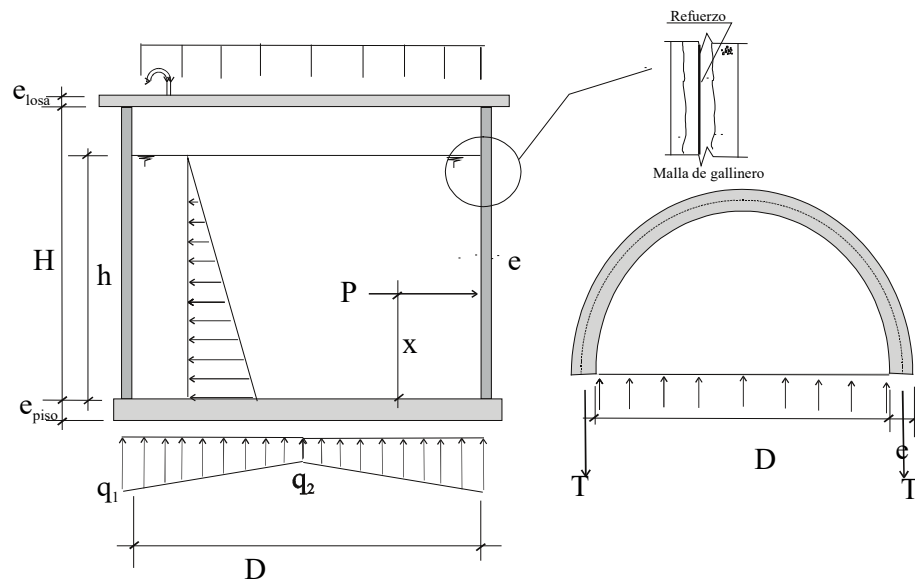
Refuerzo longitudinal en pared

$$A_{\text{si}} = \frac{500 H_i D}{f_y}$$

$$A_{\text{smin}} = \frac{14}{f_y} b d$$

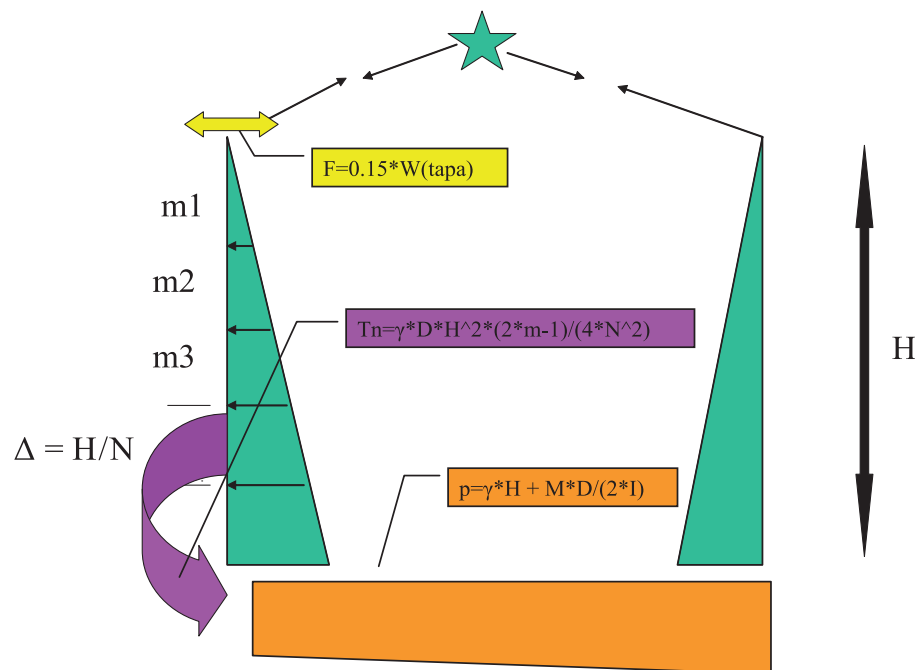
Donde:

- e = espesor de la pared del tanque (cm).
- e_{piso} = espesor de la losa de fondo (cm).
- e_{techo} = espesor de la losa de techo (cm).
- r_w = densidad del agua (g/cm³ o kg/m³).
- h = altura del nivel máximo de agua (m).
- r = radio del reservorio (m).
- f'_c = resistencia a la compresión del mortero (kg/cm²).
- D = diámetro del reservorio (m).
- A_{si} = área de acero a una altura i (cm²).
- A_{smin} = área de acero mínima (cm²).
- H_i = altura a la que se desea calcular el refuerzo (m).
- f_y = esfuerzo de fluencia del refuerzo (kg/cm²).
- b = ancho de referencia (cm).
- d = espesor (cm).



En 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 se da en tanques muy grandes.

Es importante determinar los esfuerzos y las sollicitaciones de carga a las que estará sometido el diseño.



Fuente: CEPIS. Cargas al interior de un tanque de ferrocemento.

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

El factor de volumen (Fv), es la relación entre el volumen del refuerzo y del compuesto.

$F_v = \text{Volumen de refuerzo} / \text{Volumen de la sección ferrocemento}$

$$F_v = n \cdot p_m \cdot \text{Área} / r_m \cdot h \cdot \text{Área} = n \cdot p_m / r_m \cdot h$$

Donde:

- 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. En 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 está hecho. 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 E_r .

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

CARACTERÍSTICAS		Malla tejida cuadrada	Malla soldada cuadrada	Malla torcida hexagonal	Metal expandido	Barras longitud	
Resistencia a la fluencia	Fy (kg/cm ²)	4550	4550	3150	3150	4200	
Mód. de elasticidad	Er long	Efl (103 kg/cm ²)	1400	2030	1050	1400	2030
	Er transv.	Eft (103 kg/cm ²)	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.

$$F_e = E_a / E_m$$

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

f) Proceso constructivo

Cimentación

Luego de seleccionar un lugar adecuado, de preferencia con una capacidad de carga admisible mayor a 1.50 kg/cm^2 , se procede a replantear el reservorio y excavar y vaciar la zanja de cimentación. Ubicar el punto de desagüe del tanque (sumidero). Si el terreno no es muy recomendable o la estructura es muy grande, sobre el suelo firme colocar un empedrado, 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 del encofrado y abaratar costos. Una vez pañeteadas las paredes estas 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

Colocación del refuerzo

Se coloca una primera capa de refuerzo consistente en una o más mallas hexagonales (malla de tipo 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 N° 16, los traslapes deberán ubicarse en diferentes sitios para no provocar zonas críticas que puedan causar fallas en la estructura.

Luego se procederá a colocar nuevamente una capa de malla tipo gallinero, observando las mismas indicaciones que en 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

SANBASUR, en la última experiencia de construcción de un tanque de 35 m³, se habilitó a manera de guía soportes consistentes en estacas con varillas de fierro de ½", vaciados en dados de concreto. Se armó el refuerzo de piso consistente en refuerzos del tipo "U" con varillas de 3/8" en una sola pieza desde el piso hasta las paredes del tanque, cubriendo distancias entre dos estacas opuestas.

Los refuerzos simples se colocaron perpendicularmente a los refuerzos en "U", amarrados con alambre N°16 a manera de zuncho con la siguiente distribución:

- A nivel del piso del tanque, dos fierros de 3/8".
- A continuación, un fierro de 3/8" cada 12.5 cm. (total 10 fierros de 3/8").
- A continuación, un fierro de 3/8" juntamente con un fierro de ¼", a 12.5 cm del último fierro de 3/8", indicado anteriormente.
- A continuación, un fierro de 3/8" a 12.5 cm del refuerzo anterior.
- A continuación, un fierro de 3/8" y uno de ¼" a 12.5 cm del anterior.
- En el borde del tanque se colocaron dos fierros de 3/8" juntos.

Toda la armadura de fierro a nivel exterior e interior fue cubierta con mallas de tipo gallinero, traslapadas y fijadas a los zunchos y al acero vertical con alambre N° 16.

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, la mezcla debe 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. En el caso de realizarse el encofrado y de acuerdo a la dimensión del tanque debe esperarse unas 48 horas o 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

En el último reservorio construido de 35 m³, previamente para garantizar una adecuada verticalidad y evitar desperdiciar el mortero, se tomaron en cuenta los siguientes pasos: (i) Se encofró exteriormente un lado de la pared vertical con planchas de triplay; (ii) Se acondicionó el agregado fino, previo tamizado, eliminando los de tamaño mayor y se procedió a lavar el material pétreo para garantizar una adecuada adherencia, preparando el mortero en una proporción 1:2 (cemento: arena gruesa); y, (iii) Se colocó una primera capa de mortero de 4 cm de espesor, formando el cuerpo del tanque cubriendo las mallas de refuerzo en una sola jornada, para que una vez presentada una consistencia rígida se dé el acabado interior y exterior logrando un espesor final de 6 cm. Las juntas entre paredes y base fueron del tipo media caña.

Curado

Es importante mantener un curado constante en las paredes del tanque (siete días como 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 de ferrocemento concluido

Una de las ventajas en el uso del ferrocemento es el costo relativamente menor (entre 30% y 60% menos) 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.

Relación de insumos utilizados para un tanque de ferrocemento de 35 m³

Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. S/.	PARCIAL
1	Adaptador UPR PVC Ø 2"	und	8	5.00	40.00
2	Alambre Nº 16	kg	15	5.80	87.00
3	Arena fina	m ³	4	70.00	280.00
4	Arena gruesa	m ³	6	75.00	450.00
5	Cemento	bl	85	25.00	2,125.00
6	Codo PVC o SAP Ø 2"	und	3	8.50	25.50
7	Fierro de 3/8"	var	69	17.50	1,207.50
8	Fierro de 1/2"	var	6	32.00	192.00
9	Fierro de 1/4"	var	45	8.20	369.00
10	Malla gallinero trenzada	rollo	3	150.00	450.00
11	Madera 3/4" x 4" x 4.5 m	pza	3	9.50	28.50
12	Madera 3/4" x 8" x 4.5 m	pza	2	19.00	38.00
13	Piedra chancada	m ³	2	65.00	130.00
14	Plancha de triplay 6 mm	pl	12	48.00	576.00
15	Tapa F°G° 0.60 x 0.60 m	und	2	120.00	240.00
16	Tee PVC SAP Ø 2"	und	2	12.00	24.00
17	Transporte	glb	1	400.00	400.00
18	Tubería de agua de Ø 2"	und	2	39.40	78.80
19	Tubo de ventilación	und	2	50.00	100.00
20	Unión universal Ø 2"	und	8	20.00	160.00
21	Válvula compuerta Ø 2"	und	4	70.00	280.00
MANO DE OBRA					
22	Maestro calificado (01)	días	20	60.00	1,200.00
23	Operarios durante (02)	días	20	45.00	1,800.00
24	Ayudantes durante/ comunidad (03)	días	20	30.00	1,800.00
COSTO TOTAL APROXIMADO EN S/.					12,081.30

g) Algunas dificultades observadas

En Cusco, durante las primeras experiencias de construcción de dos reservorios, se observaron algunos defectos como afloramientos blanquecinos tipo exudaciones, así como agrietamientos pequeños.

Si bien, estas exudaciones 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 respecto al agua y 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.



Agrietamientos y exudaciones observadas en reservorios



Otras deficiencias observadas son los agrietamientos, estos 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; sin embargo, cuando esta se presenta, provoca fisuramiento.

- A mayor relación agua/cemento, es 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 se evidencia mayor contracción.

Con la finalidad de disminuir la aparición de estas grietas, se sugiere 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, por lo general interactúan con las grietas de contracción, cerrándolas o abriéndolas con dilataciones y contracciones. En 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 necesario 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.

Es importante 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, de tal modo que en verano no se produzcan nuevas fisuras; ocurre lo contrario cuando se construye en verano, esta última recomendación se está evaluando, aún no se puede afirmar que así sea.

h) Ventajas del ferrocemento

- 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.

- 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.
- Los reservorios de ferrocemento son estructuras livianas que evitan problemas de cimentación.
- Estos reservorios son fáciles de reparar y mantener.
- Es posible aplicar esta tecnología con éxito a otro tipo de estructuras, tales como filtros, piletas domiciliarias, módulos sanitarios domiciliarios, obras de arte, etc.
- Se espera 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.

i) Desventajas del ferrocemento

- 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 percibieron dudas respecto al funcionamiento 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 y normas que sirvan de soporte para la práctica de esta tecnología en el país.

j) Lecciones aprendidas de la experiencia en el ámbito rural

La construcción de más de 30 tanques con esta tecnología, permite hacer referencia a algunas lecciones aprendidas:

- Considerando los bajos costos de inversión, durabilidad y esfuerzo en el proceso constructivo, desde el sector saneamiento debe promoverse y difundirse el uso de esta tecnología, sobre todo en instituciones vinculadas 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.
- La calidad de las estructuras del ferrocemento es el factor de mayor importancia que debe ser garantizado para la confiabilidad en el uso de esta tecnología; por ello, es importante que el personal que brinda la dirección técnica en el proceso constructivo de estos reservorios, tengan la capacidad necesaria y haber participado en la construcción de estructuras similares.

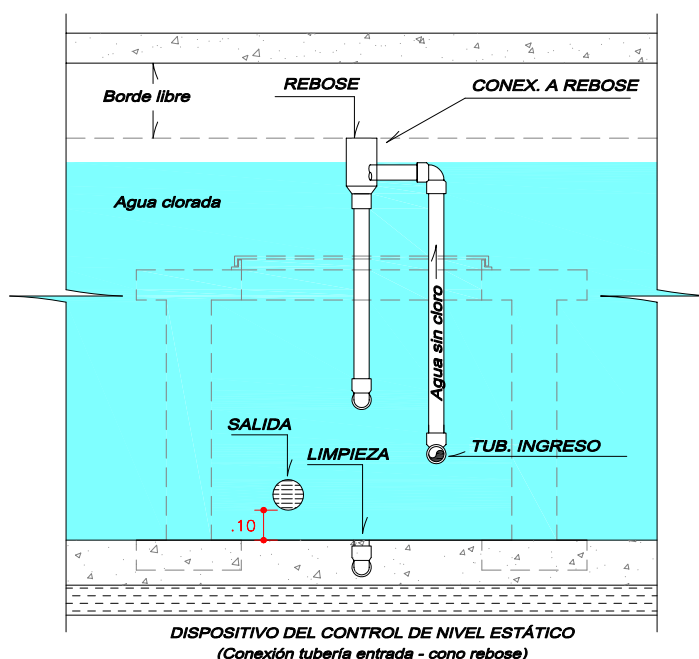
2.5 Control de nivel estático en reservorios de almacenamiento de agua potable

a) Presentación

En el abastecimiento de agua potable, la exigencia técnica dispuesta por el sector establece en el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano D.S. N° 031-2010-SA.- Art. 66°: "Antes de la distribución del agua para consumo humano, el proveedor realizará la desinfección con un desinfectante eficaz para eliminar todo microorganismo y dejar un residual a fin de proteger el agua de posible contaminación microbiológica en la distribución. En caso de usar cloro o solución clorada como desinfectante, las muestras tomadas en cualquier punto de la red de distribución, no deberán contener menos de 0.5 mgL^{-1} de cloro residual libre en el noventa por ciento (90%) del total de muestras tomadas durante un mes. Del diez por ciento (10%) restante, ninguna debe contener menos de 0.3 mgL^{-1} y la turbiedad deberá ser menor de 5 Unidad nefelométrica de turbiedad (UNT)".

En la zona rural dar cumplimiento a este requisito, se hace mediante la instalación de tecnologías de cloración; sin embargo, se debe evitar la pérdida de agua clorada especialmente en las noches u horas de menor consumo cuando se produce rebose en el reservorio, ya que es en el reservorio donde se debe suministrar cloro de acuerdo a lo dispuesto en el reglamento y en las cantidades necesarias, y suficientes que aseguren el cloro residual libre. La cloración se realiza luego de conocer las características del agua y los análisis indican que se debe clorar para asegurar la distribución a través de las tuberías.

Con el propósito de evitar la pérdida de agua clorada, se instala un dispositivo de control en el interior del reservorio utilizando tubería PVC. Este dispositivo lleva el nombre de control o nivel estático, según se muestra en el gráfico siguiente:



El funcionamiento de este dispositivo se relaciona con el llenado del reservorio. Esto es, cuando el reservorio alcanza su nivel máximo de agua clorada, el ingreso del agua que viene desde la captación se interrumpe y fluye agua a través de la tubería que se conecta con el cono de rebose.

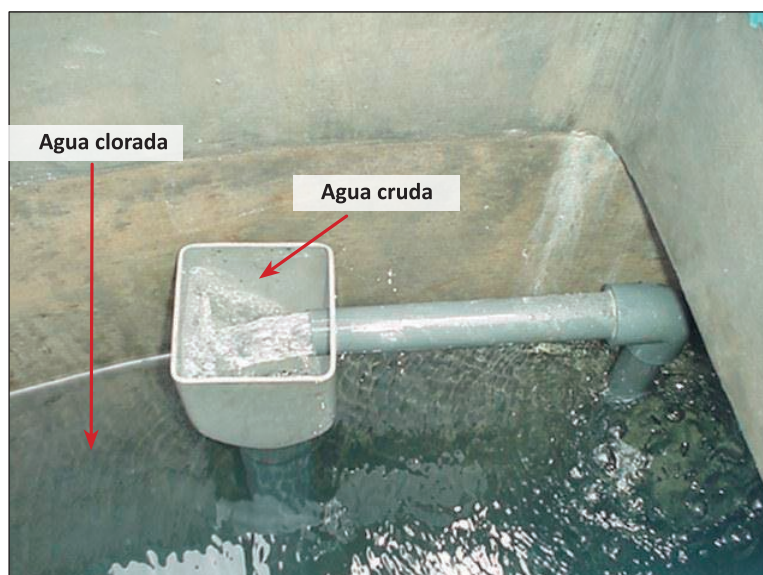
b) Antecedentes

En la zona rural se han instalado diferentes opciones tecnológicas de cloración. Antes de la instalación del control de nivel estático, se perdía agua clorada durante las noches o durante las horas de menor consumo en la distribución, generando mayores costos al usuario o en algunos casos haciendo que el prestador deje de suministrar cloro, poniendo en riesgo sanitario a la población. En proyectos que tuvieron seguimiento, se pudo identificar que la instalación del control de nivel estático reduce a la mitad el gasto en el insumo utilizado para la cloración.

c) Descripción

Principio técnico

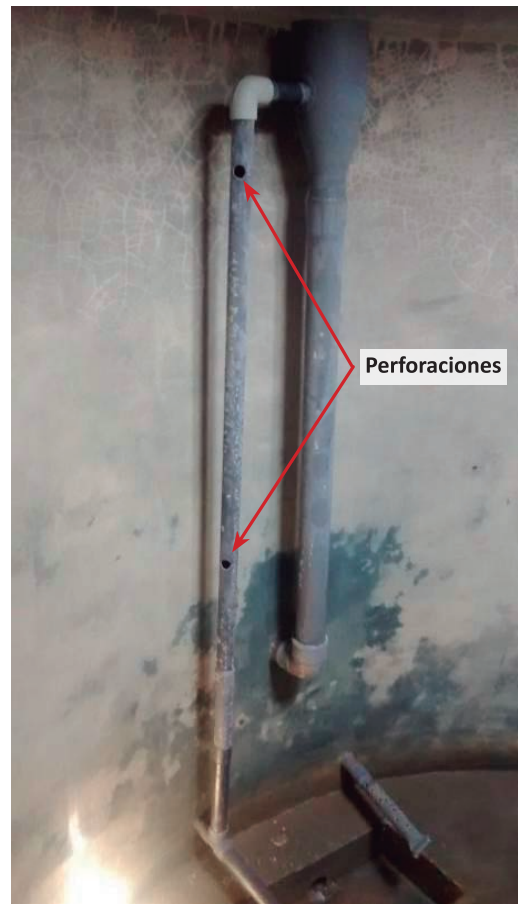
El principio de funcionamiento de este dispositivo es el de vasos comunicantes, esto es, al ingresar agua al reservorio, esta va siendo clorada y almacenada. Al encontrarse la superficie del espejo de agua cercana al rebose, se limita el ingreso por el tubo respectivo y el agua encuentra menos resistencia al flujo a través de la tubería que conecta el tubo de ingreso con el cono de rebose, como se observa en la siguiente imagen:



Además, se muestra que la superficie del espejo de agua clorada se encuentra por debajo del cono de rebose y del tubo que descarga el agua cruda. Estos casos se presentan cuando las presiones de llegada al reservorio superan los 10 mca, y cuando las presiones de llegada al reservorio son altas, el agua fluye rápidamente por el nivel estático y cono de rebose a la vez, interrumpiendo el llenado del reservorio; para superar esto, se acondiciona una Tee de PVC antes del codo de 90° que conecta al cono de rebose o se hacen perforaciones, como se muestra en la imagen adjunta.

El contar con una buena presión de llegada, también se puede aprovechar para generar movimiento del flujo y lograr una mejor mezcla en la dosificación de cloro. Con la finalidad de lograr un movimiento rotacional se coloca un codo de 90° en la parte final del tubo de ingreso.

La instalación del control de nivel estático en hipocloradores por goteo (con flotador y de carga constante con doble recipiente), la Tee se coloca en el interior del reservorio, tal como se muestra en las imágenes adjuntas:



Materiales

Los materiales que se utilizan para instalar el control o nivel estático son:

- Tee PVC del diámetro de la tubería de ingreso.
- Tubo PVC del diámetro de la tubería de ingreso.
- Codo PVC x 90° del diámetro de la tubería de ingreso.
- Pegamento.

Ventajas

- Evita la pérdida de agua clorada, en especial en las noches, cuando el consumo se reduce.
- Reduce a la mitad los costos del insumo cloro.
- Es de fácil instalación.
- Es compatible con cualquier tipo de tecnología de cloración.

2.6 Tecnologías de cloración en sistemas de agua rurales

a) Introducción

El beneficio principal del agua potable es la protección de la salud a través del control de las enfermedades transmitidas por el agua. La cloración desempeña una función primordial en el control de los agentes patógenos presentes en el agua. Los sistemas de abastecimiento de agua potable sin tratar, o con un tratamiento inadecuado, siguen siendo la mayor amenaza para la salud pública, especialmente en países como el Perú y en mayor proporción en el ámbito de las comunidades rurales. Un ejemplo de la continua amenaza a la salud por brotes de enfermedades transmitidas por el agua se dio en nuestro país en el año 1991, donde el factor principal fue la ausencia o insuficiencia de desinfección del agua potable.

Según la Organización Mundial de la Salud, la desinfección con cloro es aún la mejor garantía de un agua microbiológicamente segura (Oficina Regional de la OMS para Europa, *Drinking Water Disinfection*). Es poco probable que esto cambie en un futuro próximo.

El impacto en la salud por el consumo de agua contaminada de las fuentes de agua comunitarias ha evidenciado diversos problemas en la salud y seguridad de la población, en especial en los niños/as menores de 5 años. Como respuesta a la problemática identificada, la cloración se ha convertido en uno de los mecanismos principales para la desactivación o destrucción de los organismos patógenos. La cloración es efectiva cuando el agua es tratada adecuadamente, convirtiéndola en una actividad importante, sobre todo en las comunidades pequeñas y zonas rurales.

Actualmente, el objetivo de la cloración del agua es asegurar que el consumidor reciba agua esencialmente saludable, mediante la destrucción de los agentes patógenos y que mantenga una barrera protectora contra los gérmenes dañinos a la salud humana que se podrían introducir en el sistema de abastecimiento, evitando de esta manera la posterior contaminación microbiológica del agua.

En Perú, el sector salud ha dispuesto que antes de la distribución del agua para consumo humano, el proveedor deberá realizar la desinfección con un desinfectante eficaz como el cloro que permite eliminar todo microorganismo y dejar un residual a fin de proteger el agua de posible contaminación microbiológica en la distribución⁴.

b) Problemática en la cloración del agua en el medio rural

Según reportes preliminares del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento a través del Programa Nacional de Saneamiento Rural (PNSR), se estima que menos del 3% de los sistemas de abastecimiento de agua rural suministran agua clorada, con el consecuente riesgo que afecta la salud de los usuarios/as que se abastecen de estos sistemas.

Los sistemas rurales del país presentan algunas limitaciones y requieren de condiciones básicas que permitan garantizar el consumo de agua de calidad y la sostenibilidad, tales como:

- Caracterización del agua en sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, luego procesarla para su desinfección.
- Selección de una tecnología de cloración sencilla y apropiada al contexto rural, que sea adecuada a las condiciones locales y a la cantidad de agua suministrada (caudal).
- Capacidad local para operar y mantener adecuadamente la tecnología de cloración, repararla, calibrarla y reponerla, de ser el caso.
- Asegurar la disponibilidad del cloro y repuestos de los equipos de cloración en el nivel local. En el medio rural comúnmente se ha utilizado el hipoclorito de calcio al 30-33% como insumo, el mismo que hace pocos años no se produce, ni comercializa en el país, originando la falta de desinfección del agua para el consumo humano. Actualmente se está utilizando el hipoclorito de calcio al 65 – 70% que tiene diferentes presentaciones (briquetas, tabletas, granulado, etc.).
- Soporte institucional por parte de los actores locales y sectoriales que acompañen permanentemente en el nivel comunitario, recayendo la responsabilidad en los gobiernos locales de apoyar en el control de la calidad del agua, facilitando el suministro del insumo químico a través de estrategias como el fondo rotatorio para la adquisición del cloro y el seguimiento al correcto uso de los sistemas de cloración desde sus Áreas Técnicas Municipales (ATM), siendo la responsabilidad del sector salud, las acciones de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano.

⁴ D.S. N° 031-2010-Salud. Art° 66. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

- Sistemas de agua potable acondicionados, funcionando adecuadamente (sin fugas, sin roturas de tuberías, etc.) con la finalidad de reducir los riesgos de contaminación y pérdida de cloro.
- Soporte económico dado por los usuarios a través del pago del servicio para cubrir los costos de producción de agua de calidad y gestión del servicio.

Si estas condiciones no se cumplen, es muy probable que el agua que se suministra en los sistemas rurales no se encuentre clorada, por consiguiente puede representar un riesgo sanitario para la población que se abastece en estas comunidades.

c) La cloración en sistemas de abastecimiento de agua rural

La cloración es el proceso mediante el cual se agrega una determinada cantidad de cloro al agua a ser consumida por la población. El cloro puede estar en diferentes formas, el sistema de dosificación depende de la cantidad de agua a ser clorada, la presentación del insumo cloro y el presupuesto que se desea invertir en el sistema.

La cantidad de cloro que se va a dosificar equivale a la demanda de cloro (la cual está estrechamente ligada a la calidad química y microbiológica del agua a la que debe adicionarse la cantidad de cloro residual esperada en la red de abastecimiento de agua. Antes del proceso de desinfección es recomendable realizar ensayos de consumo instantáneo de cloro. Este ensayo se denomina: «ensayo de demanda de cloro⁵».



El cloro también es el desinfectante más usado para el tratamiento del agua residual doméstica porque destruye los organismos a ser inactivados mediante la oxidación del material celular. El cloro puede ser suministrado en muchas formas que incluyen el gas de cloro, las soluciones de hipoclorito y otros compuestos clorinados en forma sólida o líquida. Algunas de las alternativas de desinfección incluyen la ozonización y la desinfección con radiación ultravioleta (UV), las cuales no son muy comunes en el medio rural.

⁵ CEPIS. (s.f). Guía para la desinfección del agua para consumo en sistemas rurales de abastecimiento de agua por gravedad y bombeo.

Productos para la limpieza y desinfección

Durante casi un siglo, los productos químicos basados en cloro han sido los desinfectantes más usados para tratar el agua y potabilizarla. Si bien, los atributos más importantes del cloro son su potencia germicida de amplio espectro y su permanencia en las redes de distribución de agua. Los compuestos basados en cloro son los únicos desinfectantes importantes que presentan propiedades residuales duraderas. La protección residual impide un nuevo crecimiento microbiano y previene la contaminación del agua durante su recorrido hasta los grifos domésticos.

Las principales ventajas del cloro son:

- ***Germicida potente***, se ha demostrado que el uso del cloro reduce el nivel de los microorganismos patógenos en el agua de consumo humano a niveles mínimos.
- ***Cualidades residuales***, el cloro produce una acción desinfectante residual sostenida que es "única entre los desinfectantes de agua en gran escala disponibles". La superioridad del cloro como desinfectante residual sigue siendo válida hasta hoy. La presencia de un residuo sostenido mantiene la higiene del agua potable, dado a que en nuestras comunidades el almacenamiento se realiza en baldes y recipientes, y con el residual de cloro se garantiza un factor de seguridad del agua antes de ser consumida.
- ***Control del gusto y olores***, el cloro oxida muchas sustancias que se presentan naturalmente, tales como, las secreciones de algas malolientes y los olores de la vegetación en descomposición, lo que da como resultado agua potable inodora y con mejor sabor.
- ***Control del crecimiento biológico***, la potente acción germicida del cloro elimina las bacterias, mohos y algas. El cloro controla estos microorganismos que por lo general crecen en los reservorios, en las paredes de las tuberías de conducción y aducción de agua.
- ***Control químico***, el cloro en el tratamiento del agua destruye el sulfuro de hidrógeno y elimina el amoníaco, y otros compuestos nitrogenados que tienen sabores desagradables y obstaculizan la desinfección.

Las principales limitantes del cloro son:

- Todas las formas de cloro son muy corrosivas y tóxicas. Como consecuencia, el almacenamiento, transporte y manejo, presentan riesgos cuya prevención requiere normas más exigentes de seguridad industrial, sin embargo, por las cantidades a usar en el medio rural este problema se minimiza.
- El cloro oxida ciertos tipos de materiales orgánicos del agua ante la presencia de mucho material orgánico, generando compuestos más peligrosos (tales como los metanos trihalogenados [MTH]).

- El cloro residual es inestable en presencia de altas concentraciones de materiales con demanda de cloro, por lo cual pueden requerirse mayores dosis para lograr una desinfección adecuada.
- Algunas especies parásitas han mostrado resistencia a dosis bajas de cloro, incluyendo los oocistos de *Cryptosporidium parvum*, los quistes de *Entamoeba histolytica* y *Giardia lamblia*, y los huevos de gusanos parásitos.

Las formas más comunes de presentación del cloro son:

Nombre del producto químico	Nombre Comercial	Características	Contenido de cloro
Cloro	Cloro licuado. Cloro gaseoso.	Gas licuado a presión.	99.8%
Hipoclorito de calcio	HTH, percloron.	Polvo, gránulos y tabletas. Razonablemente estable, pero en contacto con sustancias orgánicas puede iniciar combustión.	65-70% 20-30%
Hipoclorito de sodio	Lejía.	Líquido amarillo pálido. Pierde potencia rápidamente a concentraciones mayores a 7%.	1-15%

La cloración en condiciones normales puede reducir en más del 99% el número de *Escherichia coli* y de ciertos virus, pero no el de quistes o de protozoarios parásitos. Estas condiciones son las siguientes:

- Cloro residual en estado libre > 0.3 mg/L.
- 30 minutos de contacto por lo menos.
- pH inferior a 8.0.
- Turbiedad del agua inferior a 5 UNT (unidades nefelométricas de turbidez).

d) Tecnologías de cloración en sistemas de abastecimiento de agua rural

d.1) Hipoclorador por goteo con flotador⁶

Descripción de la tecnología

Está recomendado para sistemas de agua potable por gravedad con o sin planta de tratamiento en el ámbito rural, permite el suministro constante de pequeñas dosis de solución clorada a caudales de agua que ingresan al reservorio.

⁶ COSUDE, CARE Perú. (2018). Hipoclorador por goteo con flotador- Manual de instalación, operación y mantenimiento.

Partes

Constituido por:

- Tanque de polietileno para la solución madre, flotador PVC, niple PVC, hilo de nylon y manguera flexible

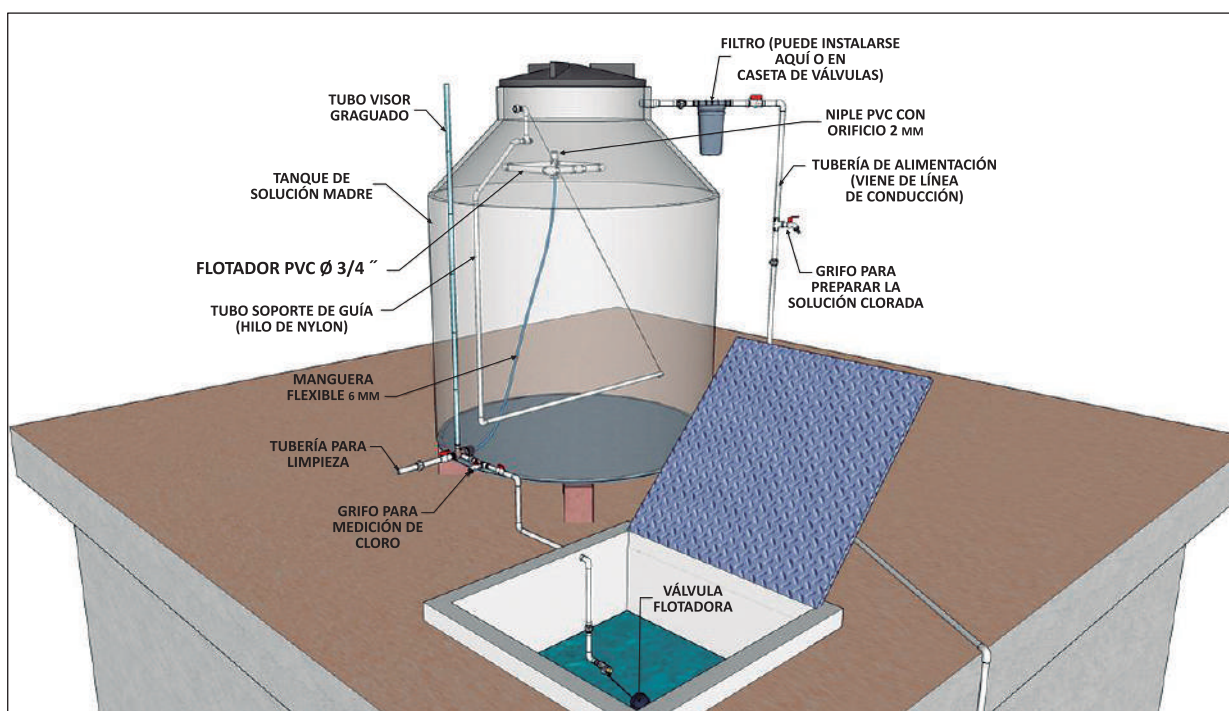
El niple PVC de $\frac{3}{4}$ " x 6" se sostiene en un flotador PVC y lleva un orificio (2 mm) que al sumergirse unos centímetros debajo del espejo de solución clorada en el tanque de polietileno, dicha solución ingresa y fluye por una manguera flexible de 6 mm que termina en una placa PVC que está acondicionada en la parte intermedia de una unión universal de $\frac{1}{2}$ ". A partir de esta unión universal, la solución va por una tubería de PVC $\varnothing \frac{1}{2}$ " hacia el punto de aplicación (reservorio); la dosificación se regula fácilmente cambiando la profundidad de inmersión del orificio. Los materiales deben ser resistentes a la corrosión del cloro.

- Conexiones de ingreso de agua

Conformada por tubos y accesorios PVC conectada a la tubería de ingreso al reservorio, lleva un grifo de bronce que abastece con agua en la preparación de la solución madre y llenado del tanque de polietileno.

- Conexiones de salida y dosificación de cloro al reservorio

Conformada por tubos y accesorios PVC conectado al tanque de solución madre, lleva un grifo PVC en el cual se mide el caudal de goteo. La tubería y accesorios conducen la solución clorada al interior del reservorio.



Hipoclorador por goteo con flotador

- Caseta de protección

Al tener el sistema varios componentes, es necesario protegerlo en un área que permita el manipuleo, mantenimiento y limpieza del equipo de cloración.

Materiales

N°	MATERIALES	UNID.	CANT.	N°	MATERIALES	UNID.	CANT.
1	Abrazadera de derivación PVC Ø xx" a 1/2" (a)	und	1	19	Placa circular o arandela PVC (tapón hembra PVC SAL Ø 4" presión)	und	1
2	Abrazadera de derivación PVC Ø xx" a 3/4" (a)	und	1	20	Reducción PVC Ø 3/4" a 1/2"	und	1
3	Adaptadores PVC Ø 1/2"	und	9	21	Tanque de 600 L con accesorios de conexión	und	1
4	Adaptadores PVC Ø 3/4"	und	11	22	Tapón hembra PVC Ø 3/4" c/rosca	und	1
5	Codo PVC Ø 1/2" x 45°	und	2	23	Tee PVC Ø 1/2"	und	2
6	Codo PVC Ø 1/2" x 90°	und	5	24	Tee PVC Ø 3/4"	und	3
7	Codo PVC Ø 3/4" x 90°	und	12	25	Teflón	rollo	6
8	Codo PVC mixto Ø 1/2" x 90°	und	1	26	Tubo PVC Ø 1/2" x 5.00 m	und	2
9	Cono de rebose	und	1	27	Tubo PVC Ø 3/4" x 5.00 m	und	3
10	Grifo de bronce Ø 1/2"	und	1	28	Tubo PVC transparente de lectura de nivel del tanque	und	1
11	Grifo PVC Ø 1/2"	und	1	29	Unión mixta PVC Ø 1/2"	und	2
12	Grifo PVC Ø 1/2" c/rosca	und	1	30	Unión universal PVC Ø 1/2" c/rosca	und	3
13	Hilo de nylon Ø 1 mm	m	2	31	Unión universal PVC Ø 3/4" c/rosca	und	3
14	Ladrillo KK	und	15	32	Válvula de paso PVC Ø 1/2" c/rosca	und	1
15	Lija gruesa	plg	1	33	Válvula de paso PVC Ø 3/4" c/rosca	und	2
16	Manguera Ø 6 mm transparente flexible (peceras) (b)	m	1.5	34	Codo PVC SAP Ø xx" (control de nivel estático) (d)	und	3
17	Niple PVC Ø 1/2" x 2" c/rosca (c)	und	1	35	Tee PVC SAP Ø xx" (control de nivel estático) (d)	und	1
18	Niple PVC Ø 3/4" x 5"	und	1	36	Tubo PVC SAP Ø xx" (control de nivel estático) (d)	und	2

(a) Puede cambiar Tee + reducción.

(b) Manguera de uso en pecera o manguera hidráulica para combustible de 5/32".

(c) Si no hay niple, cambiarlo con adaptadores y tubo.

(d) Ø xx": diámetro de tubería de ingreso al reservorio.

Costos de implementación

COMPONENTES	MATERIALES (S/.)	MANO DE OBRA (S/.)	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS (S/.)	TOTAL (S/.)
INSTALACIÓN EQUIPO DE CLORACIÓN	700.00	150.00	50.00	900.00
CASETA	1,200.00	1,050.00	50.00	2,300.00
CAPACITACIÓN	300.00	300.00	0.00	600.00
SEGUIMIENTO	250.00	450.00	0.00	700.00
TOTAL S/.				4,500.00

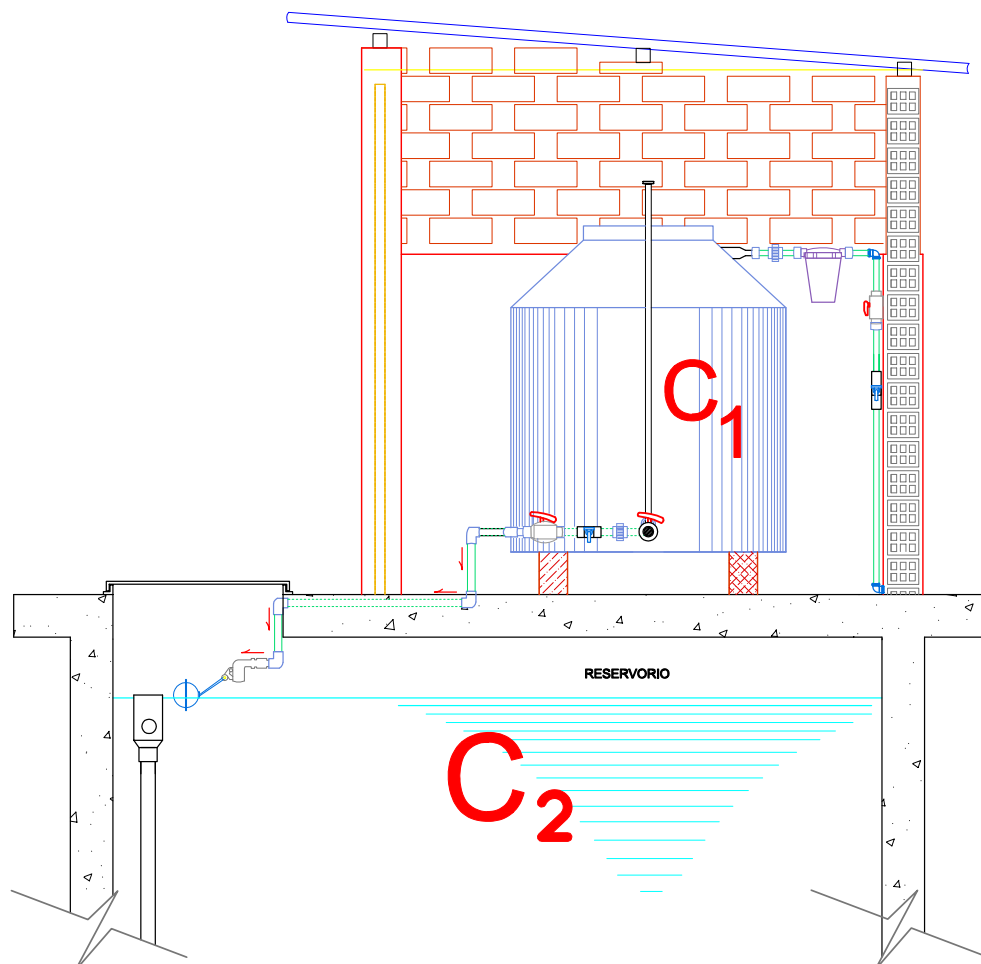
Ventajas y limitaciones⁷

Ventajas

- Goteo constante de solución clorada debido a carga hidráulica constante.
- Desinfección y protección del agua en los rangos de 0.5 a 1.0 ppm de cloro residual libre.
- Dosificación constante de cloro para un ingreso constante de agua al reservorio.
- Facilidad de preparación de solución clorada y recarga periódica por el acondicionamiento de un grifo junto al tanque de solución madre.
- Goteo eficiente a partir de 45 mL/min.

Limitaciones

- Período máximo de recarga: 15 días en tanques de 600 L.
- Cambio de manguera flexible e hilo de nylon por lo menos 2 veces al año.



Plano del Hipoclorador por goteo con flotador

⁷ COSUDE, CARE Perú. (2018). Memoria Descriptiva – Instalación del Hipoclorador por goteo con flotador.

d.2) Hipoclorador por goteo de carga constante de doble recipiente⁸

Descripción de la tecnología

Está recomendado para sistemas de abastecimiento de agua potable por gravedad y permite el suministro constante de pequeñas dosis de solución clorada a caudales de agua que ingresan al reservorio⁹.

Partes

Constituido por:

- **Tanque de polietileno para la solución madre**

Ubicado en la parte superior de la estructura metálica (u otra) construida para esta tecnología. Este tanque de solución madre tiene un multiconector (que contiene 03 salidas): la salida de la parte superior es para el tubo transparente (visor) que muestra el nivel de solución madre, la salida directa es para limpieza del tanque y la salida lateral para ensamblar un niple y demás conexiones hacia el recipiente regulador de carga constante.

- **Recipiente regulador de carga constante**

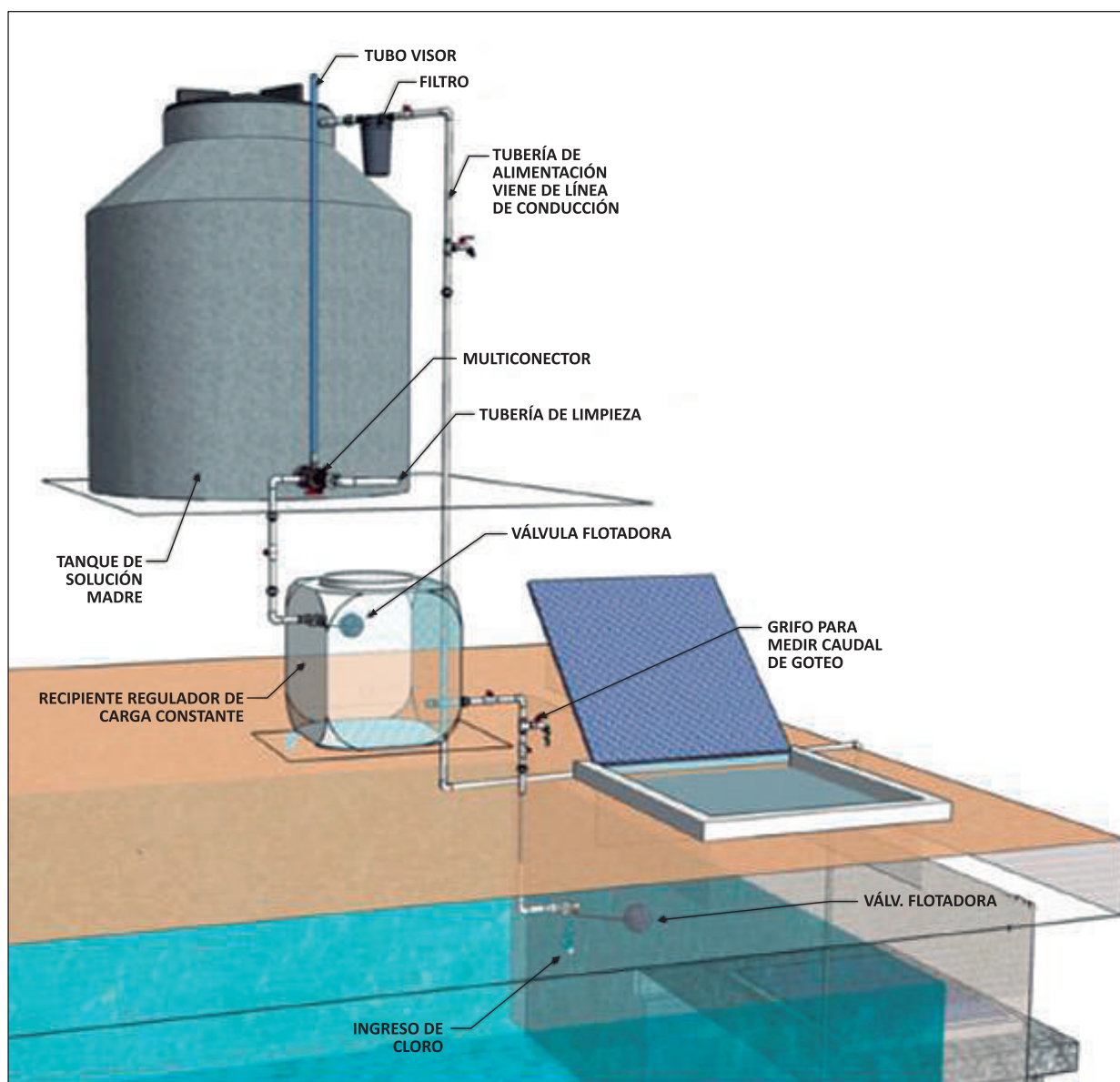
Colocado en el nivel inferior del tanque de solución madre; lleva en su interior una válvula flotadora, acondicionada para mantener constantes la altura de líquido y el caudal de goteo.

- **Conexiones de salida y dosificación de cloro al reservorio**

Conformada por tubos y accesorios PVC que permiten realizar la medición y regulación del goteo, y la posterior conducción de la solución clorada hacia el reservorio.

⁸ COSUDE, CARE Perú. (2018). Hipoclorador de goteo de carga constante de doble recipiente - Manual de instalación, operación y mantenimiento.

⁹ Previo a la R.M. N° 173-2016-VIVIENDA, el Proyecto SABA Plus denominó a esta tecnología sistema de cloración por goteo convencional.



Hipoclorador de goteo de carga constante de doble recipiente

- Caseta de protección

Al tener el sistema varios componentes, es necesario protegerlo en un área que permita el manipuleo, mantenimiento y limpieza del equipo de cloración.

Materiales

MATERIALES		UNID.	CANT.
Recipiente (bidón o balde de 60 L)		und	1
Tanque de 600 L con accesorios (multiconector, válvula flotadora, visor)		und	1
ACCESORIOS			
Nº INGRESO DE AGUA AL TANQUE DE SOLUCIÓN MADRE			
1	Adaptador PVC Ø 1/2" (incluye 2 und. adicionales)	und	8
2	Codo PVC Ø 1/2" x 90° (incluye 2 und. adicionales)	und	6
3	Grifo PVC Ø 1/2" c/rosca	und	1
4	Niple PVC Ø 3/4" x 2" roscado	und	1
5	Reducción PVC Ø 3/4" a 1/2"	und	1
6	Tee PVC Ø 1/2"	und	1
7	Tubo PVC Ø 1/2" x 5.00 m	und	4
8	Unión universal PVC Ø 1/2" c/rosca	und	2
9	Válvula esférica PVC Ø 1/2" c/rosca	und	2
SALIDA DEL TANQUE DE SOLUCIÓN MADRE AL RECIPIENTE DOSIFICADOR			
10	Accesorio multiconector (incluido como accesorio del tanque)	und	1
11	Adaptador UPR PVC Ø 1/2"	und	1
12	Codo PVC Ø 1/2" x 90° c/rosca	und	2
13	Niple PVC Ø 1/2" x 1.5" roscado	und	6
14	Tubo visor (incluido como accesorio del tanque)	und	1
15	Unión universal PVC Ø 1/2" c/rosca	und	2
16	Válvula de llenado PVC Ø 1/2" c/boya flotadora	und	2
17	Válvula esférica PVC Ø 1/2"	und	1
SALIDA DEL RECIPIENTE DOSIFICADOR AL RESERVORIO			
18	Adaptador UPR PVC Ø 1/2" con empaquetadura de jebe	und	1

19	Codo PVC Ø 1/2" x 90° c/rosca	und	2
20	Grifo PVC Ø 1/2"	und	1
21	Niple PVC Ø 1/2" x 1.50" c/rosca	und	10
22	Reducción PVC Ø 3/4" a 1/2"	und	1
23	Tee PVC Ø 1/2"	und	1
24	Tubo PVC Ø 1/2" x 5.00 m	und	1
25	Unión universal PVC Ø 1/2" c/rosca	und	2
26	Válvula de llenado PVC Ø 1/2" c/boya flotadora	und	1
27	Válvula esférica PVC Ø 1/2"	und	2
SALIDA PARA LIMPIEZA DEL TANQUE DE SOLUCIÓN MADRE			
28	Adaptador UPR PVC Ø 1/2"	und	1
29	Codo PVC Ø 1/2" x 90° c/rosca	und	2
30	Niple PVC Ø 1/2" x 1.5" c/rosca	und	3
31	Tubo PVC Ø 1/2" x 5.00 m	und	2
33	Unión universal PVC Ø 1/2" c/rosca	und	1
32	Válvula esférica PVC Ø 1/2" c/rosca	und	1
CONTROL DE NIVEL ESTÁTICO			
33	Codo PVC Ø 2" x 90°	und	1
34	Codo PVC Ø 3/4" x 90° (verificar Ø tub. ingreso)	und	3
35	Cono de rebose PVC Ø 4" x 2"	und	1
36	Tee PVC Ø 3/4" (verificar Ø tub. ingreso)	und	1
37	Tubo PVC Ø 2" x 3.00 m (rebose)	und	3
38	Tubo PVC Ø 3/4" x 5.00 m (según Ø tub. existente de ingreso)	und	3

Costos de implementación

COMPONENTES	MATERIALES (S/.)	MANO DE OBRA (S/.)	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS (S/.)	TOTAL (S/.)
INSTALACIÓN EQUIPO DE CLORACIÓN	807.33	320.04	30.00	1,157.37
CASETA CON MALLA OLÍMPICA	1,149.89	936.00	240.40	2,326.29
CAPACITACIÓN	336.70	336.70	0.00	636.70
SEGUIMIENTO	44.95	300.00	0.00	344.95
TOTAL S/.				4,465.31

Ventajas y limitaciones¹⁰

Ventajas

- Es un sistema bastante preciso y fácil de operar, permite la obtención del cloro residual libre en los rangos permitidos (0.5 a 1.0 ppm o mg/L), en cualquier punto de la red de distribución en forma permanente. No se generan excesos de cloración que pueden afectar la salud del consumidor.

¹⁰ COSUDE, CARE Perú. (2018). Memoria Descriptiva – Instalación del Hipoclorador de goteo de carga constante de doble recipiente.

- La dosificación del cloro se calcula en función al caudal de consumo de agua de la población; por lo que, el gasto de cloro está en relación a lo que necesita.
- La cloración con este equipo puede realizarse durante las 24 horas del día o por horas de ser necesario (18, 12, 10 o 6 horas), de este modo, se prolongaría el período de recarga, esto ocurre cuando no hay consumo de agua por parte de la población durante las noches.

Limitaciones

- Cuando las temperaturas son bajas (menores de 9° C) existe el riesgo de producirse obstrucciones en el goteo por cristalización del cloro y este sería mayor, si la concentración de la solución madre es alta (próxima a 5000 ppm).
- En zonas de temperatura baja, el caudal de goteo debe ser mayor a 40 mL/min. En climas templados o cálidos podría regularse desde 25 mL/min a más.

d.3) Dosificador de cloro con bomba eléctrica¹¹

Descripción de la tecnología

Es recomendada para sistemas de abastecimiento de agua potable por bombeo con y sin planta de tratamiento, permitiendo el suministro constante de pequeñas dosis de solución clorada a caudales de agua que ingresan al reservorio.

Partes

Constituido por:

- **Bomba eléctrica dosificadora**

Es un equipo accionado por bombas de diafragma o pistón que succionan la solución clorada del tanque que lo contiene e inyecta esta solución mediante pulsaciones en la línea de impulsión del sistema de agua potable. Permite la regulación del caudal de dosificación de cloro en función a la dosis de cloro que demanda el caudal de bombeo del sistema de agua potable que ingresa al reservorio. En este tipo de bomba, la regulación se realiza utilizando las perillas de frecuencia y amplitud de succión, respectivamente.

Comprende la bomba eléctrica y sus accesorios: manguera con una válvula de pie en la succión; un accesorio multifunción, al cual se conectan la manguera de purga y la manguera (tubillo) de inyección. Esta última constituye la conexión de salida de dosificación de cloro.

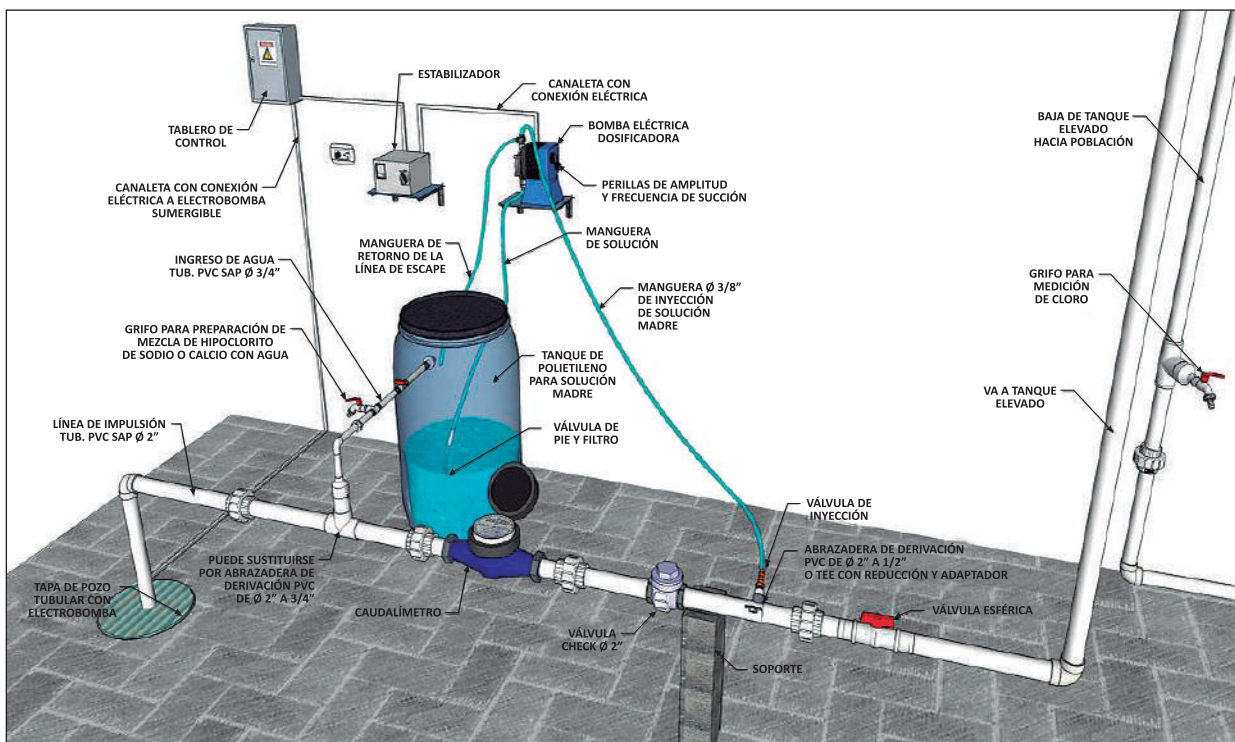
¹¹ COSUDE, CARE Perú. (2018). Dosificador de cloro con bomba eléctrica - Manual de instalación, operación y mantenimiento.

- Tanque de polietileno para la solución madre

Puede ser de volúmenes de 200 a 250 L, ubicado generalmente por debajo del nivel de la bomba.

- Conexiones de ingreso de agua

Conformada por tubos y accesorios conectados a la línea de impulsión a fin de preparar la solución clorada.



Partes del dosificador de cloro con bomba eléctrica

- Caseta de protección

Al tener el sistema varios componentes, este se ubicará en un área que permita la operación, mantenimiento y limpieza del sistema de cloración.

Materiales y equipos

N°	MATERIALES Y EQUIPOS	UNID.	CANT.
INGRESO DE AGUA AL TANQUE DE SOLUCIÓN MADRE			
1	Adaptador UPR PVC Ø 3/4"	und	6
2	Codo mixto PVC SAP Ø 3/4"	und	1
3	Codo PVC SAP Ø 3/4" x 90°	und	1
4	Grifo de bronce Ø 1/2"	und	1
5	Niple PVC SAP Ø 3/4"	und	1
6	Reducción PVC Ø 3/4" a 1/2"	und	1
7	Tanque de polietileno 200 L	und	1
8	Tee PVC SAP C-10 Ø 3/4"	und	1
9	Unión mixta PVC SAP Ø 1/2"	und	1
10	Unión universal PVC Ø 3/4"	und	1
11	Válvula esférica PVC Ø 3/4" c/rosca	und	1
INGRESO A BOMBA ELÉCTRICA DOSIFICADORA			
12	Bomba eléctrica dosificadora	und	1
13	Estabilizador de corriente	und	1
14	Manguera flexible Ø 3/8"	und	1
15	Soporte metálico de 25 x 20 cm	und	2
16	Válvula de pie con filtro (*)	und	1

N°	MATERIALES Y EQUIPOS	UNID.	CANT.
CONEXIÓN ENTRE BOMBA ELÉCTRICA DOSIFICADORA Y LÍNEA DE IMPULSIÓN			
17	Abrazadera de derivación PVC Ø 2" a 1/2"	und	1
18	Abrazadera metálica Ø 3/8"	und	1
19	Adaptador UPR PVC Ø 2"	und	6
20	Caudalímetro Ø 2"	und	1
21	Codo PVC Ø 2" x 90°	und	2
22	Manguera rígida Ø 3/8" (*)	und	1
23	Niple PVC c/rosca - longitud 3"	und	1
24	Tubería PVC SAP C-10 Ø 2"	und	2
25	Unión universal PVC Ø 2"	und	4
26	Válvula check Ø 2"	und	1
27	Válvula de inyección (*)	und	1
28	Válvula esférica Ø 2"	und	1

(*) Está incluido en el kit de accesorios de la bomba eléctrica.

Costos de implementación

COMPONENTES	MATERIALES (S/.)	MANO DE OBRA (S/.)	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS (S/.)	TOTAL (S/.)
INSTALACIÓN Y SUMINISTRO DE EQUIPO DE CLORACIÓN	4,538.70	13.49	13.49	4,658.46
CAPACITACIÓN	336.70	300.00	0.00	636.70
SEGUIMIENTO	44.95	300.00	0.00	344.95
TOTAL COSTO DIRECTO S/.				5,640.11

e) Acciones complementarias a la cloración

Capacitación a la JASS

Es importante afianzar conocimientos, habilidades y destrezas en los operadores del sistema de cloración, utilizando los manuales acordes a la tecnología seleccionada.

Verificación del funcionamiento de la tecnología de cloración

Los miembros del Consejo Directivo de la JASS y el operador del sistema, deben conocer la importancia de la producción del agua potable, dentro de ello, la cloración, y estar capacitados en el control permanente del proceso de cloración del agua para consumo humano, dependiendo de la tecnología utilizada. Así también, estarán en la capacidad de manejar los comparadores de cloro y llevar el registro de los valores encontrados, producto del monitoreo realizado.

Acondicionamiento previo del sistema de agua potable

El sistema de agua potable debe estar en buenas condiciones para suministrar el cloro. Fugas o desperdicios afectan la calidad y encarecen el costo de la cloración. Es necesario solicitar a los directivos de la JASS efectuar una campaña de control del buen funcionamiento en los puntos de consumo (en las instalaciones domiciliarias) y sensibilizar a la población sobre el uso racional del agua.

Elección de un operador

El operador debe cumplir ciertos requisitos para una buena operación del sistema de cloración, dentro de estos: (i) Capacitado por una entidad o institución acreditada respecto a la producción de agua potable; (ii) Capacitado en tecnologías de cloración; y, (iii) Capacitado en operación y mantenimiento de sistemas de agua potable.

Es recomendable que en el proceso de capacitación participen 2 o más miembros de la JASS; considerando como una alternativa, la designación de un operador sustituto o alterno que pueda reemplazar al operador titular cuando el caso lo requiera.

Cálculo y eventual reajuste de la cuota familiar

La instalación de un sistema de cloración, genera un costo adicional a la cuota familiar, este deberá ser reajustado teniendo en cuenta la cantidad de insumo que se necesita para una desinfección efectiva del agua, a este costo se debe adicionar el costo de operación y mantenimiento del sistema, y el pago del operador. El valor que se obtenga deberá ser distribuido entre el número de familias de la comunidad.

Educación sanitaria

La mejora de las condiciones de salubridad del agua mediante la desinfección (cloración), amerita la educación en salud e higiene a nivel familiar, comunal y en instituciones educativas con la finalidad de promover la adopción de comportamientos saludables referidos al consumo de agua segura, uso racional del agua, lavado de manos, almacenamiento del agua a nivel intradomiciliario, etc.

Control de la operación del sistema de cloración

Es necesario que el responsable del ATM controle la operatividad y buen funcionamiento del proceso de cloración, así como el registro de datos que el operador toma en campo. El control se refiere a los siguientes aspectos:

- Aforo o medición de caudal a clorar.
- Recarga de la solución clorada.
- Control del nivel de cloro residual libre en la red.
- Registro de los datos y reporte al ATM.
- Limpieza del tanque y los accesorios.
- Resolución de problemas.

f) Seguimiento a la instalación de las nuevas tecnologías

Como todo nuevo sistema, luego de su instalación es fundamental el seguimiento para asegurar el adecuado funcionamiento, reducir excesos de cloro por inadecuada operación, etc. En este proceso, se verifica como se realiza la operación y mantenimiento de los equipos, se evalúa el conocimiento que han adquirido el operador o directivos de la organización comunal responsables de la cloración, así también, la calidad de la información que registra el operador u operadores, etc. En el caso de Perú, la responsabilidad del seguimiento es función de las municipalidades desde sus áreas técnicas de saneamiento.

En base a la estrategia de articulación de los actores institucionales, el sector salud, en atención al rol asignado por el marco legal vigente asume la responsabilidad en la vigilancia de la calidad del agua para el consumo humano, implementando un programa para este fin.

En el ámbito rural, la instalación de nuevas tecnologías de cloración de agua para consumo humano, debe estar asociada a una revisión y actualización de planes operativos anuales del proveedor, actualización del presupuesto y cálculo de la cuota familiar y modalidad de pago por el servicio. Además, debe asegurarse la capacitación del operador y/o personas designadas para realizar la cloración. Debe implementarse un documento (libro, cuaderno) de registro de cloración que permitirá evaluar la eficiencia de los equipos y a la vez controlar los parámetros de calidad de agua para consumo humano.

La experiencia demuestra que los sistemas de agua potable rural que cuentan con un operador, son los que mejor funcionamiento han conseguido. La rotación del personal a cargo de la operación y mantenimiento puede conllevar a errores en el manejo del sistema de cloración.

Medición del cloro residual

Un aspecto importante es la medición del cloro residual libre, el método más utilizado es el colorimétrico teniendo como insumo el DPD (NN-dietilo-p-fenilenediamina).

El procedimiento se inicia tomando una muestra de agua clorada en un punto de la red de distribución que puede ser en la parte alta, media o baja de la localidad; luego, se mide la cantidad de cloro residual en función al cambio de coloración del agua al ponerse en contacto con la pastilla DPD de acuerdo a un patrón establecido, usando equipos o aparatos apropiados para este fin.

El rango ideal de cloro residual debe encontrarse entre 0.50 a 1.0 mg/L.

Comparador de cloro

Para la determinación del cloro residual libre se utilizan equipos simples o sofisticados, dentro de estos tenemos, comparadores de disco, electrónicos, los que ofrecen un rango de precisión con aproximaciones de 0.1 mg/L y un rango de lectura de 0 a 3.5 mg/L.

Utiliza un reactivo conocido como DPD para cada lectura, el mismo que viene en sobres herméticamente sellados o pastillas.

El procedimiento de lectura se realiza tomando una muestra de agua en los tubos de ensayo, luego se añade el reactivo (DPD) a uno de los tubos; por comparación colorimétrica se lee en el disco la cantidad de cloro residual libre contenido en el agua de la muestra. Existen en el mercado dispositivos de medición de cloro más sencillos y económicos, pero que tienen el mismo principio para la determinación del cloro residual libre.



Equipo de medición de cloro residual

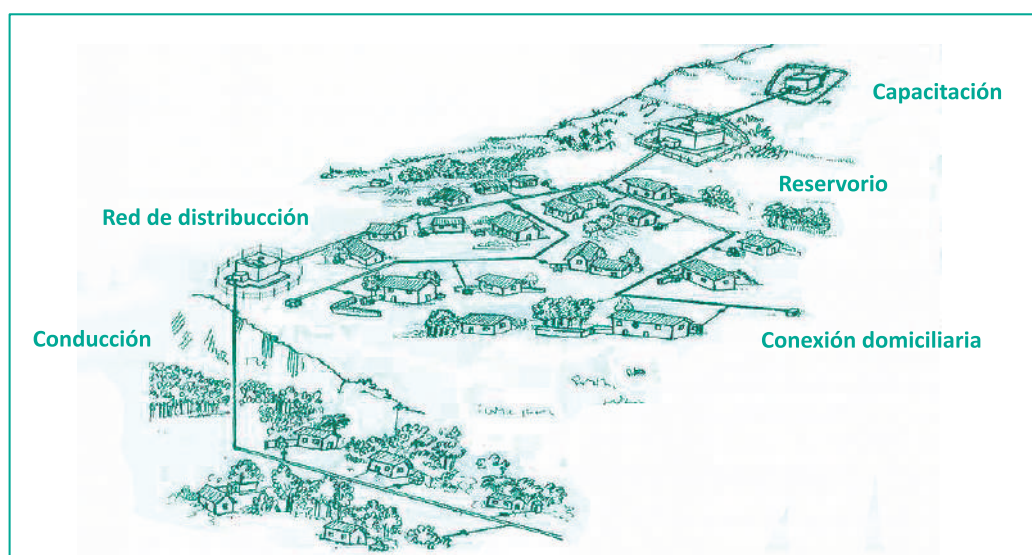
2.7 Dispositivo flotador en cámaras rompe presión con boya

a) Presentación

Es muy común en el medio rural realizar planteamientos hidráulicos inapropiados para los sistemas de abastecimiento de agua, para hacer frente al desnivel existente y la diferencia de cotas topográficas entre el reservorio y la población; planteándose estructuras hidráulicas, como son las cámaras rompe presión con boya en red de distribución (CRP-T7), estas cámaras son de concreto y llevan en su interior una boya flotadora que se convierte en un elemento vulnerable y de poca durabilidad para el buen funcionamiento del sistema.

Ante el problema identificado, es recomendable utilizar cámaras repartidoras de caudal en función de la sectorización y demanda de agua de la población, que permitan además controlar presiones y el abastecimiento continuo. En el Cusco, SANBASUR ante la gran cantidad de sistemas existentes con cámaras rompe presión convencionales con boya y sin adecuado funcionamiento, realizó un trabajo de investigación para reemplazar este flotador comercial por uno de mayor eficiencia y durabilidad, pudiendo inclusive reemplazarse la cámara rompe presión convencional por una estructura más simple, de menor dimensión y más económica, considerándose como un accesorio dentro del sistema de distribución.

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



Sistema convencional de agua potable sin planta de tratamiento

b) Descripción de la tecnología

Debido a los problemas originados por los flotadores tipo 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 de 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.



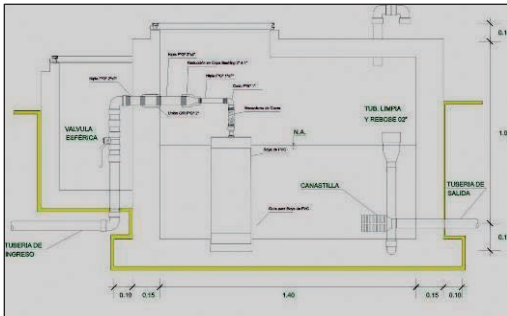
Válvula flotadora convencional

La innovación obedece a la necesidad de solucionar el problema del mal funcionamiento de las cámaras rompe presión con boya convencionales existentes en muchos sistemas de agua, para lo cual con 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 facilita el desplazamiento vertical del eje que soporta a la boya de PVC, con un ingreso del agua de tipo aspersor.



Dispositivo de flotación tipo pistón

En este modelo es importante adicionar un 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, como se muestra en las siguientes imágenes.



Anillo de concreto en alto y bajo relieve que impide el movimiento lateral del pistón

El costo del dispositivo flotador vertical es de aproximadamente S/. 250 soles, el cual debe de ser fabricado por un personal especializado y es necesario llevar un buen control de calidad que garantice su correcto funcionamiento.

En zonas de presión con bajo caudal (1 a 3 familias), es posible adaptar el flotador vertical e instalarlo dentro de 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. Se tiene como limitante en este caso 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 al dispositivo; no obstante, en caudales pequeños el funcionamiento es eficiente.

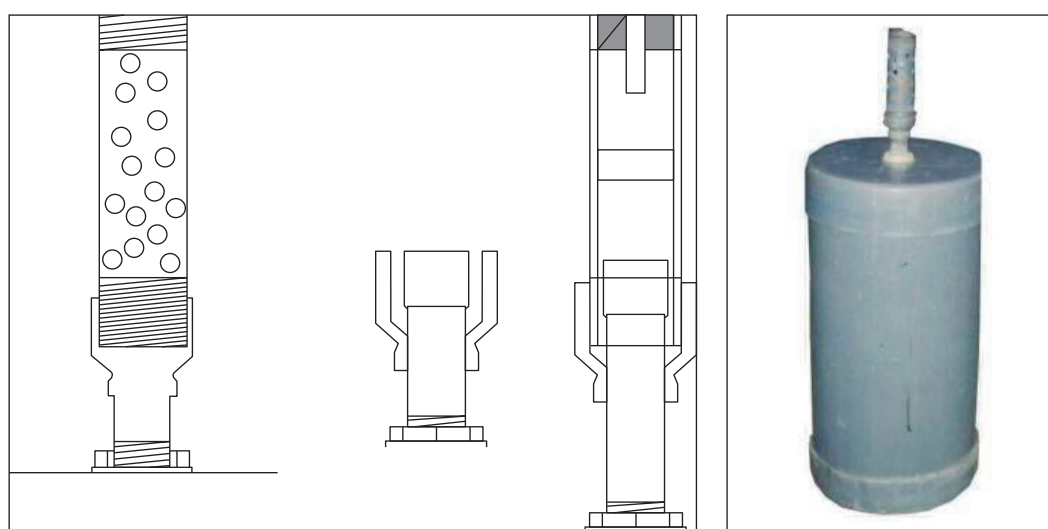


Dispositivo de flotación simplificado sin cámara húmeda

c) Cálculo para el diseño

Las consideraciones a tener en cuenta en el diseño son:

- 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 40 – 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 L/s - 5 L/s.
- Velocidades de flujo no mayores a 5 m/s.



Detalle de válvula de ingreso

Dispositivo flotador de PVC

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

- Presión de entrada del agua (con un orificio menor que el diámetro de la tubería de ingreso) a la cámara rompe presión.
- 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 a fin de cerrar la entrada de agua, una vez llena la cámara húmeda.

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 cámara rompe presión y de la siguiente estructura aguas arriba (reservorio, otra cámara rompe presión, etc.). La presión en este análisis es la más crítica puesto que no se consideran pérdidas de carga en la tubería por estática.

Hidráulicamente, el ingreso efectivo del agua se realiza por un orificio más pequeño que es de $\varnothing 3/8''$. Se determina el equilibrio de fuerzas en este punto, para vencer teóricamente la fuerza de ingreso del agua, con la boya usada. Considerando como presión de llegada una altura de carga 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 a este valor, por lo cual, se trabaja con esta presión crítica.

Se tiene por equivalencias lo siguiente:

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ m de columna de agua}$$

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

Para equilibrar esta presión se convierte a kg-fuerza el valor anterior, considerando un diámetro de $3/8''$, por el que el agua ingresa al dispositivo.

El orificio efectivo de ingreso tiene un diámetro de: $3/8''$ o $3/8'' \times 2.54 \text{ cm} = 0.952 \text{ cm}$.

$$\text{Área del orificio de ingreso} = \pi \times (0.952 \times 0.952) / 4 = 0.7125 \text{ cm}^2$$

$$\text{Conociendo que: } P = F / A$$

Donde:

P = Presión

F = Fuerza

A = Área

Reemplazando la presión de trabajo y el área del orificio de entrada, se obtiene:

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

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

El volumen de agua desplazado es la fuerza con la que se cuenta para contrarrestar la fuerza de ingreso del agua al 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).

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen de la boya en PVC } (\varnothing 8'') &= (\pi * D^2) / 4 * \text{Altura boya sumergida} \\
 \text{Volumen} &= (\pi * 20.32 \text{ cm} * 20.32 \text{ cm}) / 4 * 50 \text{ cm} \\
 \text{Volumen} &= 16,214.64 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

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 /m³ o lo que es igual a 1 litro de agua pesa 1 Kg.

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

El empuje neto proporcionado por la boya será:

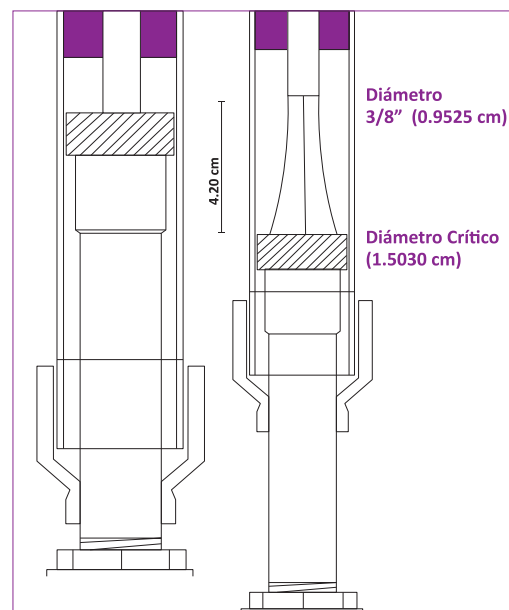
$$\begin{aligned}
 \text{Vol (kg)} &= \text{Vol por empuje} - W \text{ (peso de la boya)} \\
 &= 16.214 \text{ kg} - 2.5 \text{ kg} \\
 E \text{ neto} &= 13.714 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Realizando el equilibrio de fuerzas en el punto de interés, se tiene que 13.714 kg es mucho mayor que 4.988 kg, siendo este un coeficiente de seguridad alto, considerando además que no toda la boya tiene que trabajar totalmente sumergida. Es así que teóricamente en diseño estático la cámara rompe presión funciona, necesitando únicamente una altura de boya de 25 cm.

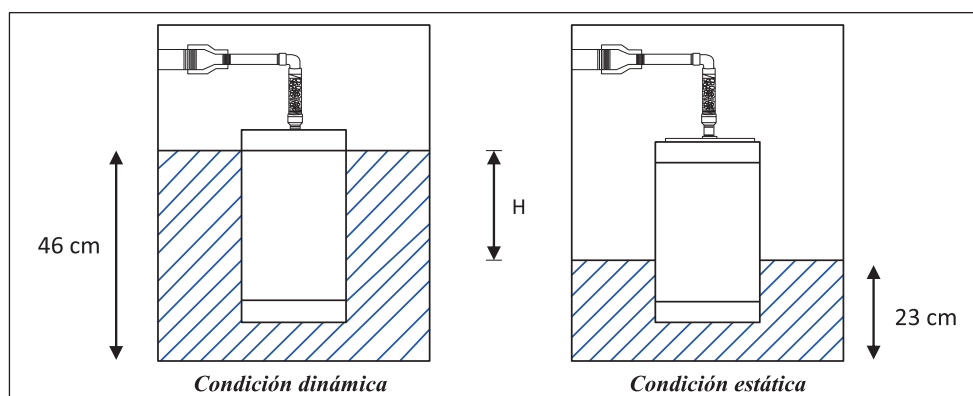
Análisis dinámico

Si bien, el análisis estático teóricamente satisface el equilibrio y además trabaja con la presión en su condición más desfavorable, esto 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 $\varnothing 3/8''$.

En condición dinámica se determina el diámetro crítico de diseño; de acuerdo a mediciones desarrolladas en campo, se ha observado que la diferencia de alturas de boya sumergida en una primera condición, es decir, cuando el flotador cierra el ingreso del agua y retiene el flujo, y en 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, lo cual permite calcular el diámetro crítico en condición dinámica.



Detalle análisis dinámico de la boya flotadora



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:

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen de la boya en PVC } (\varnothing 8'') &= (\pi * D^2) / 4 * \text{Altura boya sumergida} \\
 \text{Volumen} &= (\pi * 20.32 \text{ cm} * 20.32 \text{ cm}) / 4 * 23 \text{ cm} \\
 \text{Volumen} &= 7,458.73 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Esto equivale a 7.50 kg-fuerza.

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

$$\begin{aligned}
 \text{Vol (kg)} &= \text{Vol por empuje} - W \text{ (peso de la boya)} \\
 &= 7.50 \text{ kg} - 2.5 \text{ kg} \\
 E_{\text{neto}} &= 5.0 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Con un área de ingreso de $\varnothing 3/8''$ (0.7125 cm^2) se determina una presión neta de 7.01 kg/cm^2 , con lo que existe una aproximación 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, 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):

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen de la boya en PVC } (\varnothing 8'') &= (\pi * D^2) / 4 * \text{Altura boya sumergida} \\
 \text{Volumen} &= (\pi * 20.32 \text{ cm} * 20.32 \text{ cm}) / 4 * 46 \text{ cm} \\
 \text{Volumen} &= 14,917.46 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Lo cual equivale a 14.92 kg fuerza

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

$$\begin{aligned}
 \text{Vol (kg)} &= \text{Vol por empuje} - W \text{ (peso de la boya)} \\
 &= 14.92 \text{ kg} - 2.5 \text{ kg} \\
 E_{\text{neto}} &= 12.42 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{De la expresión:} \quad P &= F / A_{\text{crítico}} \\
 7 \text{ kg/cm}^2 &= 12.42 \text{ kg} / A_{\text{crítico}} \\
 A_{\text{crítico}} &= 1.7742 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \varnothing_{\text{crítico}} &= 1.5030 \text{ cm.} \\
 \varnothing_{\text{real}} &= 0.9525 \text{ cm.} \\
 \text{Coeficiente} &= 1.578 \text{ (58\% mayor).}
 \end{aligned}$$

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 (\varnothing 58% mayor) del flujo y por consiguiente necesita mayor empuje hidráulico.

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

d) Recomendaciones

Producto de la experiencia en diseño y validación del flotador vertical, se presentan las siguientes recomendaciones:

- Considerar una protección en la parte superior del flotador para evitar que cuando ingrese el agua, no se esparza 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, evitando trabajar con un diámetro mayor que ocasionaría una fuerza de empuje superior.
- El eje de la boya debe causar la menor fricción posible en su desplazamiento vertical, lo que puede ocasionar que la boya se trabaje al momento de ascender o 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) en la boya, para evitar el movimiento basculante por el empuje lateral del agua, que pueda reducir la eficiencia al momento del ascenso.
- Los materiales en contacto con el agua deben ser diseñados en PVC, evitando 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 que garantice un funcionamiento adecuado de la boya.

e) Conclusión

Es recomendable el uso de las cámaras distribuidoras de caudal como primera opción y de existir cámaras rompe presión con boya en redes de distribución preexistentes, el dispositivo flotador vertical puede adaptarse a estas estructuras con mejor nivel de eficiencia, costo y sostenibilidad en comparación al flotador tradicional, esto con la finalidad de hacer frente a los desniveles en los planteamientos hidráulicos.

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

2.8 Calentadores solares para módulos sanitarios en escuelas

a) Presentación

Se presenta la experiencia en la investigación de una opción tecnológica 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 dentro de las escuelas.

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 en especial en la población escolar. La temperatura en la zona andina oscila alrededor de 10°C, 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.



Vista panorámica del sistema instalado

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, con apoyo de la COSUDE se ha propiciado desarrollar nuevas experiencias para dotar de agua caliente a estos módulos sanitarios, utilizando la energía solar como fuente generadora de calor.

Aspectos generales

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

Es recomendable promover en la población escolar el aseo personal mediante el baño frecuente y prácticas adecuadas de higiene, reduciendo el riesgo de contraer principalmente enfermedades dérmicas y parasitarias; y, de esta manera mejorar su autoestima y desarrollo escolar.

Por otra parte, en la sierra del Perú existe una insolación prolongada durante el día por ubicarse entre los 13º y 14º grados de latitud sur y altitudes entre 2,700 y 4,000 m.s.n.m., pudiendo aprovecharse al máximo esta energía, sin consumir gas o electricidad.

b) Antecedentes

Los sistemas convencionales con calentadores solares, en algunos casos no han sido adecuados para las condiciones de uso en el medio rural, teniendo un costo alto y capacidades limitadas en su operación y mantenimiento, siendo muchas veces deteriorados o sustraídos 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 termosifónico, 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).

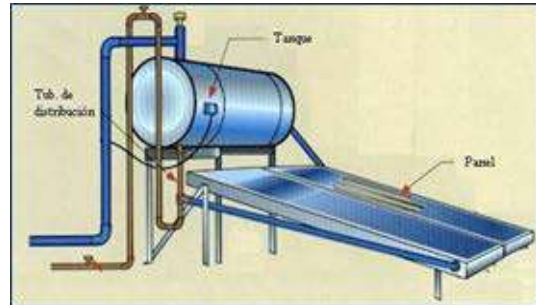
Las primeras experiencias se desarrollaron en colaboración con la Asociación Comunidad en Vida¹², consistieron en un sistema seriado con paneles solares armados artesanalmente, con paso de captación de calor solar para temperar el agua de uso sanitario, con una cubierta de vidrio y dimensiones de 24 cm de ancho, 240 cm de largo y 6 cm de espesor, conectados en serie con tuberías de ½".

¹² Organismo No Gubernamental que trabaja temas de desarrollo comunitario en el Valle Sagrado de los Incas – Cusco.

Estos paneles en serie (4 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



Esquema de un calentador convencional con panel y tanque

Sin embargo, la experiencia con este sistema presentó algunos inconvenientes en el funcionamiento, sobre todo en zonas donde las heladas en la madrugada congelaron las tuberías con agua y produjeron rajaduras 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 transmitir el calor.

c) Descripción de la tecnología

El diseño está previsto para aprovechar la energía solar al máximo posible que permita calentar el agua en el período escolar (marzo-diciembre); en la sierra, existe una radiación solar intensa entre los meses de mayo a octubre, esto representa casi las 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 y 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, pero posteriormente esta se enfría cuando se equilibra el calor con la temperatura del fluido o agua en movimiento que lo rodea (por convección) y por la emisión al exterior (por irradiación). Esto influye en 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 la zona andina es de 15°C, se busca llegar a temperaturas superiores a los 28°C 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



Muestreo de la temperatura

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.

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 y que posteriormente el agua recorra por cada hendidura en la plancha de calamina (canaleta). Para el funcionamiento del dispositivo, se instaló un alimentador principal con



Dispositivo de distribución del agua fría

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.

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

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



Primer prototipo

Segunda prueba, se incluyeron modificaciones al sistema para que el tiempo de recorrido de las gotas de agua en el techo sea mayor. Con la finalidad de lograr este objetivo se colocaron difusores de velocidad¹³, contruidos originalmente con tecnopor y colocados en las ranuras de las planchas de calamina a una distancia de 30 cm. Se obtuvieron temperaturas iniciales de 35°C, luego de 15 minutos



Segundo prototipo con difusores

la temperatura bajó a 20°C, mostrando valores mínimos, calentando 60 litros aproximadamente, cantidad suficiente para bañar máximo a 3 niños.

Tercera prueba, para estas pruebas los difusores hechos de tecnopor con baja transmisibilidad térmica, fueron reemplazados 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 adheridos a 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 la parte inferior, por lo cual, se colocó un aislante térmico debajo de las planchas de calamina, consistente en dos planchas de cartón prensado 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, es decir, actúa como una trampa de calor, mediante el llamado efecto invernadero.

¹³ Dispositivos contruidos artesanalmente para represar el chorro de agua en la calamina y 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.



Prototipo con difusores de tecnopor espaciados cada 10 cm



Prototipo con difusores de mortero de cemento espaciados cada 5 cm

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

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 5 cm. entre estos elementos como medida ideal,

con lo cual se obtuvieron temperaturas que variaron entre 28°C y 50°C, durante las pruebas en gabinete, con una producción promedio de agua caliente de 2.5 L/min, estando el sistema en funcionamiento permanente durante las horas de sol, a fin de que el volumen total producido sería capaz de abastecer las necesidades de baño de hasta 40 niños.

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 cercana¹⁴, en la cual se adaptó el sistema, obteniendo temperaturas entre 30°C y 45°C, con una producción promedio de 2.15 L/min, estando el sistema en funcionamiento permanente desde las 12:00 horas hasta las 14:45 p.m.



Sistema de recolección del agua caliente



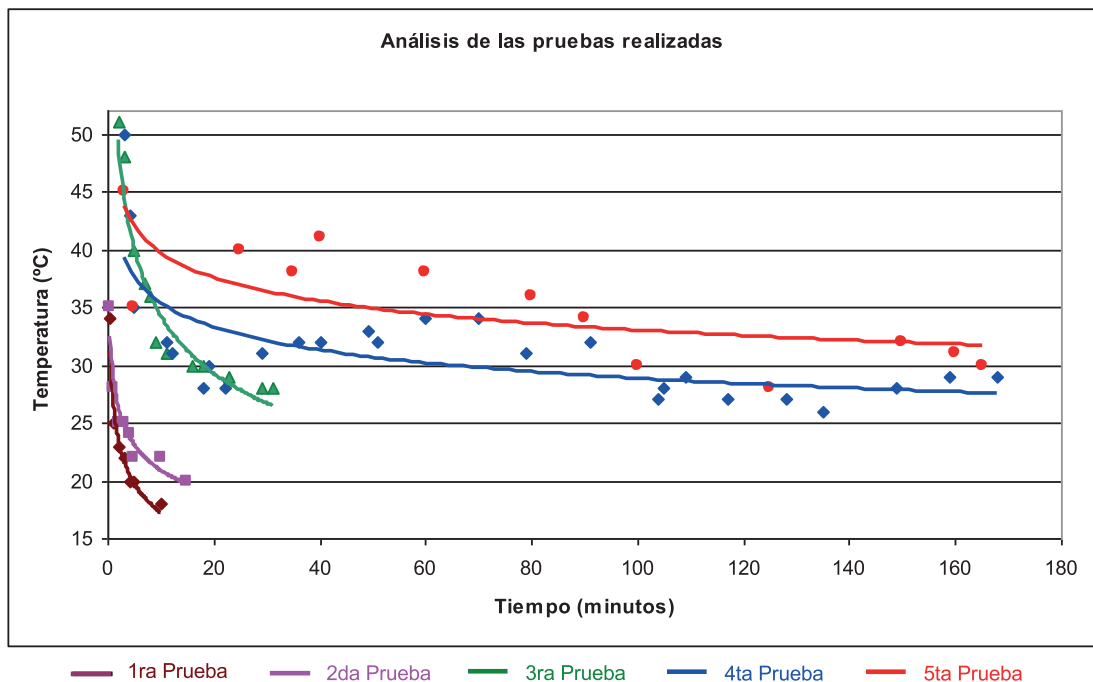
Recubrimiento de vidrio semidoble con unidades de 40 cm x 40 cm

¹⁴ Comunidad de Chitapampa, Distrito de Taray, Provincia de Calca, Departamento del Cusco.

Análisis de pruebas

El análisis ha permitido observar de mejor manera la variación de la temperatura del agua, tabulando los resultados y realizando una regresión potencial a fin de estimar el comportamiento de la línea de tendencia del agua en el tiempo.

Se observa que existe aproximación entre los datos finales del prototipo en gabinete con la validación en campo; por lo cual, se considera que el sistema es apropiado y adaptable a las condiciones rurales, disminuyendo 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.



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

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

Costos:

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

Los materiales necesarios y sus costos para instalar el sistema son los siguientes:

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. S/.	PARCIAL S/.
1	Cabezal de ducha tipo regadera	und	1	17.00	17.00
2	Cartón cartulina prensado N°12	und	30	3.00	90.00
3	Clavo para calamina	kg	1	8.00	8.00
4	Clavo para madera de 1"	kg	0.5	4.00	2.00
5	Clavo para madera de 3"	kg	1	4.00	4.00
6	Cintas teflón	und	5	2.00	10.00
7	Codo Hidro 3 Ø 1/2" C/R	und	3	2.00	6.00
8	Codo PVC SAP Ø 2" S/R	und	1	4.00	4.00
9	Hojas de sierra	und	1	5.00	5.00
10	Lija para metal	und	2	3.00	6.00
11	Listones de madera de 2" x 2" x 3"	und	10	5.00	50.00
12	Pintura anticorrosiva color negro	gal	0.5	35.00	17.50
13	Presas hechizas de mortero	glb	1	40.00	40.00
14	Reducción PVC SAP Ø 2" - 1/2"	und	1	4.00	4.00
15	Silicona color negro	und	3	4.00	12.00
16	Tapón PVC SAP Ø 2" S/R	und	1	4.00	4.00
17	Tapones PVC SAP Ø 1/2" C/R hembra	und	10	1.50	15.00
18	Tee (interna) Hidro 3 de 1/2" C/R	und	12	2.00	24.00
19	Thiner y/o aguarrás	gal	2	15.00	30.00
20	Tuberías PVC SAP Ø 1/2" C/R	und	1	8.00	8.00
21	Tuberías PVC SAP Ø 1/2" S/R	und	1	7.50	7.50
22	Tubería Hidro 3 Ø 1/2" C/R	und	2	12.00	24.00
23	Tubería PVC SAP Ø 2" C-7.5	und	1	25.00	25.00
24	Unión universal Hidro 3 de Ø 1/2"	und	2	3.00	6.00
25	Válvulas PVC Ø 1/2"	und	7	7.00	49.00
26	Vidrio semidoble transparente de 0.40 x 0.40 m	und	54	4.00	216.00
COSTO TOTAL APROXIMADO EN S/.					684.00

d) Resultados

Esta experiencia ha permitido constatar los efectos positivos referidos a la tenencia y uso de estos servicios en la población escolar, los principales resultados obtenidos fueron:

- Los docentes asumieron el compromiso de promover 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 Institución Educativa de Chitapampa, Cusco, los resultados mostraron que el 85% de la población escolar se encontraba en buenas y muy buenas condiciones de higiene.
- El baño total semanal de la población escolar se incrementó de 1 a 3 veces por semana.

e) Recomendaciones

Con el fin de garantizar un funcionamiento eficiente se deberá tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La cobertura preparada debe orientarse preferentemente hacia la zona de máxima insolación durante el día, teniendo una inclinación no mayor a 22°C.
- En la colocación 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.
- Es necesario proteger con pintura anticorrosiva las calaminas, puesto que estarán expuestas constantemente a la humedad, esta pintura debe ser de color negro y se debe quitar el galvanizado, para conseguir una adecuada adherencia al momento del pintado; complementariamente, realizar la limpieza a estas planchas con una mezcla de ácido muriático y agua, previa al pintado con el esmalte negro.
- Una vez ubicadas las calaminas se instalan los difusores 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 color negro y se instalan, utilizando silicona.
- La altura de los difusores deberá ser inferior al lomo superior de las canaletas en las planchas de calamina, dado que si esta 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 1/2" 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, 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 con la finalidad de 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 produzcan obstrucciones 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 en el ingreso del agua del 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 contaminación del ambiente, quitándole eficiencia al sistema.

f) Conclusión

La instalación de duchas con energía solar es una alternativa tecnológica de utilidad para las zonas rurales, puesto que con ello se contribuye a la adopción de comportamientos sanitarios adecuados 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.

3. TECNOLOGÍAS INNOVADORAS PARA LA ELIMINACIÓN DE EXCRETAS

3.1 Sistemas para disposición de excretas con arrastre hidráulico in situ

a) Introducción

La eliminación inadecuada de la excreta humana da lugar a la contaminación del suelo y de las fuentes de agua. Generalmente, propicia la proliferación y multiplicación de agentes vectores dando origen a la aparición de algunas enfermedades, como son: las infecciones intestinales y las infestaciones por helmintos, entre estas, el cólera, fiebre tifoidea, disentería, diarrea, anquilostomiasis, etc.

Hay toda una serie de afecciones relacionadas con las excretas y las aguas residuales que afectan comúnmente a los habitantes de las poblaciones, siendo los más expuestos a contraer estas enfermedades los niños menores de cinco años. El objetivo técnico de la eliminación sanitaria de las excretas es aislar las heces de manera que los agentes infecciosos que contienen no puedan llegar a un nuevo huésped. El método elegido para una determinada zona dependerá de muchos factores, entre estos: la cultura, las preferencias de defecar en las comunidades, las materias primas disponibles, los costos, las condiciones geológicas e hidrogeológicas.

Dado los riesgos que presenta para la salud y la degradación del medio ambiente, debe afrontarse el problema de la defecación al aire libre a partir de alternativas sostenibles, adecuadas a la realidad con opciones tecnológicas que permitan aislar las excretas de manera que se interrumpa el ciclo de reinfección; para lo cual, desde la experiencia de la Cooperación Suiza se han validado los sistemas de eliminación de excretas in situ con arrastre hidráulico, como una tecnología apropiada al contexto rural andino.

b) Antecedentes de la experiencia

La Cooperación Suiza a través del Proyecto SANBASUR, inicia su experiencia con sistemas de saneamiento in situ en el año 1996, apoyando la implementación de manera demostrativa de letrinas de pozo seco ventilado, promoviendo que las familias decidan y demanden este tipo de tecnología a nivel familiar, para que posteriormente se complemente el saneamiento al interior de sus viviendas, estrategia que no tuvo mucha acogida. Como parte de las lecciones aprendidas, se considera imprescindible propiciar intervenciones integrales en agua y

saneamiento de manera conjunta y de forma simultánea, observando poca demanda y aceptación por las letrinas de pozo seco ventilado (VIP), donde principalmente por los malos olores, la distancia de estas con respecto a la vivienda, la oscuridad dentro de la caseta y la presencia de moscas, este tipo de alternativas presentaron algunas limitaciones.

Reconociendo que los proyectos de saneamiento, no tienen el mismo grado de acogida en la población rural que los proyectos de agua potable, por la problemática socio cultural (defecación al aire libre) y la falta de concientización sobre la amenaza que constituye para la salud, el disponer las excretas al aire libre; esto motivó que en el año 1999, se desarrollara una experiencia piloto buscando alternativas tecnológicas en eliminación de excretas para centros poblados semidispersos con el desarrollo de un sistema de alcantarillado con arrastre hidráulico en una comunidad altoandina, con la opción tecnológica del alcantarillado de pequeño diámetro, producto de esta experiencia, se mencionan los siguientes resultados:

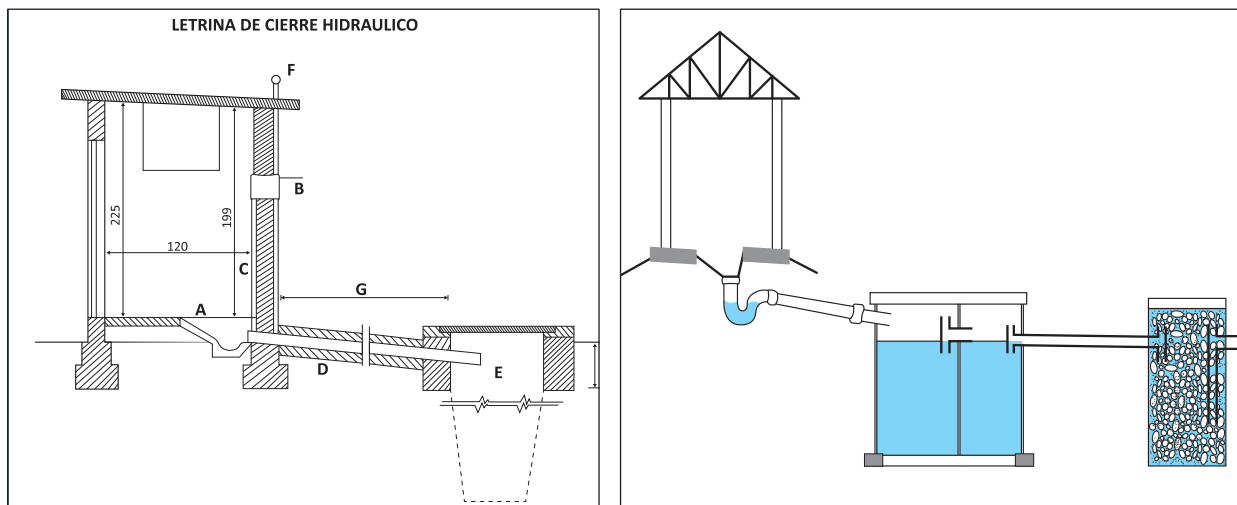
- Satisfacción de usuarios con esta alternativa tecnológica, debido a que no se generan malos olores.
- Ubicación del servicio higiénico dentro de la vivienda (en el entorno familiar).
- Usuarios realizan el lavado de manos después de usar el servicio, evidenciándose mejores prácticas de los hábitos de higiene.

A partir de esta experiencia piloto con el sistema de alcantarillado de pequeño diámetro, 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 masificarla, optando por una solución con igual nivel de servicio al interior de la vivienda a menor costo con la implementación de la opción tecnológica de sistemas de saneamiento in situ con arrastre hidráulico.

Por la buena aceptación y demanda de este tipo de sistema de saneamiento, se optó por la masificación de estos baños con arrastre hidráulico en diferentes pisos altitudinales, tanto en zonas tropicales (< 900 m.s.n.m.) como en zonas alto andinas (> 4,000 m.s.n.m.), toda vez que los criterios técnicos, ambientales y sociales sean convenientes.

c) Descripción de la tecnología

Un sistema de saneamiento in situ con arrastre hidráulico, es aquel que está conectado por medio de tuberías a una pozo de absorción, tanque séptico o biodigestor, cuyo aparato sanitario o losa que cuenta con un sifón, actúa como cierre hidráulico que impide el paso de insectos y malos olores del pozo o tanque al interior de la caseta y que necesita de una cantidad suficiente de agua (2 a 6 L) para el arrastre de las heces hasta su disposición final. El sistema de disposición está desplazado con respecto a la caseta, ambos están conectados por una tubería de longitud variable en material PVC, permitiendo ubicar el servicio higiénico en el interior de la casa o patio.



Sistema de arrastre con pozo séptico

Sistema de arrastre con tanque séptico y pozo de infiltración

En el caso de contar con un tanque séptico o biodigestor para el tratamiento de las aguas residuales, estas llegan a través de los desagües a un depósito herméticamente cerrado donde son sometidos a tratamiento parcial. En el periodo de 1 a 3 días, el líquido parcialmente tratado sale del depósito y se elimina en el suelo a través de pozos de infiltración.

d) Criterios de diseño

La instalación de estos baños para una determinada comunidad involucra múltiples factores relacionados entre sí, siendo estos: la cultura y costumbres, el nivel social y económico, las condiciones geológicas y climatológicas y la disponibilidad de recursos y materiales de construcción en las comunidades rurales. Los factores apropiados para su instalación son:

- La capa superficial del suelo no debe contaminarse.
- No deben contaminarse las aguas subterráneas que puedan entrar en los manantiales o pozos que sirvan de suministro de agua a la población.
- No deben contaminarse las aguas superficiales.
- Económica y sencilla de construir.
- Fácil de mantener.
- Libre de olores y de la presencia de insectos.
- Segura y situada en las cercanías de la vivienda.

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, 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.

Criterios técnicos

Emplazamiento

Los módulos sanitarios 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 al lavadero (punto de agua), favorece su mantenimiento y las prácticas de higiene sobre todo el lavado de manos, después de hacer uso del servicio.



Lavaderos multiusos, ubicados cerca al servicio higiénico, Cusco.

Aparato sanitario

Los primeros años de implementación se promocionó como aparato sanitario, la losa de tipo turco, que corresponde a la costumbre cultural andina de hombres, mujeres y niños de defecar en cucullas, el cual funciona produciendo el arrastre al verter con un balde de agua dentro del orificio en la losa.



Losa tipo turco

Posteriormente, en función a la demanda del usuario se incluyó además el sanitario tipo taza o inodoro, para la posición de sentado que algunos usuarios optan por mayor comodidad y/o estatus social.



Inodoro convencional dentro del servicio higiénico, Puno.

La aceptación en su uso y demanda, se expresa en el mejoramiento que algunos usuarios realizan a sus baños, financiando el acabado con mayólicas e incorporando sistemas para calentar el agua en las duchas.

Sistema de disposición

Disposición a pozos:

En el caso de los primeros sistemas con disposición a un pozo, se basa en 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:

- Tener capacidad suficiente para que todos los lodos se acumulen durante su funcionamiento.
- Cuando termine el período de vida útil del pozo, deberá quedar un espacio para cubrir el contenido con un espesor de tierra suficiente que evite la contaminación de la superficie con organismos patógenos (generalmente 0.50 m).
- Contar con una superficie permeable que permita la infiltración del líquido del pozo en el suelo circundante.

El volumen necesario para contener los lodos que se acumulan en el pozo durante su vida útil puede calcularse con la siguiente expresión:

$$V = N \times P \times R$$

Donde:

V = Volumen efectivo del pozo (m^3).

N = Período de vida útil del pozo (años).

P = Número de usuarios cotidianos del pozo.

R = Tasa estimada de acumulación de lodos por usuario (m^3 anuales).

Las tasas de acumulación de sólidos son menores en los pozos húmedos (0.02 a $0.06 m^3$ persona al año), ya que la biodegradación es más rápida bajo condiciones húmedas que en condiciones existentes en los pozos secos, donde la humedad es mínima. Se realizaron mediciones de estas tasas en letrinas secas y con arrastre, coincidiendo con los rangos de la literatura para letrinas secas (0.03 a $0.09 m^3$ persona/día), encontrando una mayor tasa de acumulación en el caso de los sistemas con 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, se recomendó estabilizar en general las paredes del pozo húmedo con mampostería seca de piedra, para tener mayor estabilidad y vida útil del sistema.



Pozo de absorción con mampostería de piedra

Puesto que estos sistemas con arrastre utilizan agua para la limpieza, puede producirse una cantidad considerable que se debe dimensionar en el pozo, con una superficie de pared adicional por encima de los lodos para la infiltración del líquido. Es conveniente suponer que los poros del suelo situado bajo la superficie de los lodos 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 lodos + profundidad de infiltración + profundidad de cierre de tierra

La experiencia recomienda el uso estricto de la papelería para evitar la obstrucción del pozo y esto también como un buen hábito de higiene. Asimismo, el pozo preferentemente debe ser cubierto con una losa de concreto. 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 y moscas dentro del pozo, dada esta situación, se recomienda colocar en la parte final del tubo de ventilación un atrapador de moscas (malla tipo mosquitero).

Disposición a tanques sépticos o biodigestores

Los tanques sépticos se utilizan por lo común para el tratamiento primario de las aguas residuales, que pueden proceder exclusivamente del baño o incluir también las aguas domésticas, situación que debe controlarse para infiltrar el agua gris sin mezclarla dentro del tratamiento en el tanque séptico o biodigestor.

Tratamiento

Los desechos llegan a través del desagüe a un depósito estanco y herméticamente cerrado, donde son sometidos a tratamiento parcial. Cada cierto tiempo (de 1 a 3 días), el líquido sobrenadante llega a la superficie y se infiltra en el suelo.

Sedimentación

Uno de los principales objetivos del diseño del tanque séptico es crear dentro del depósito una situación de estabilidad hidráulica, que permita la cimentación por gravedad de las partículas pesadas. El material sedimentado forma en la parte inferior del depósito una capa de lodo que debe extraerse periódicamente. Sin embargo, los resultados dependen en gran medida del tiempo de retención, los dispositivos de entrada y salida y la frecuencia de la limpieza de lodos. Si llegan repentinamente al depósito grandes cantidades de líquido, la concentración de sólidos en suspensión en el efluente puede aumentar temporalmente, debido a la agitación de los sólidos ya sedimentados.

Flotación

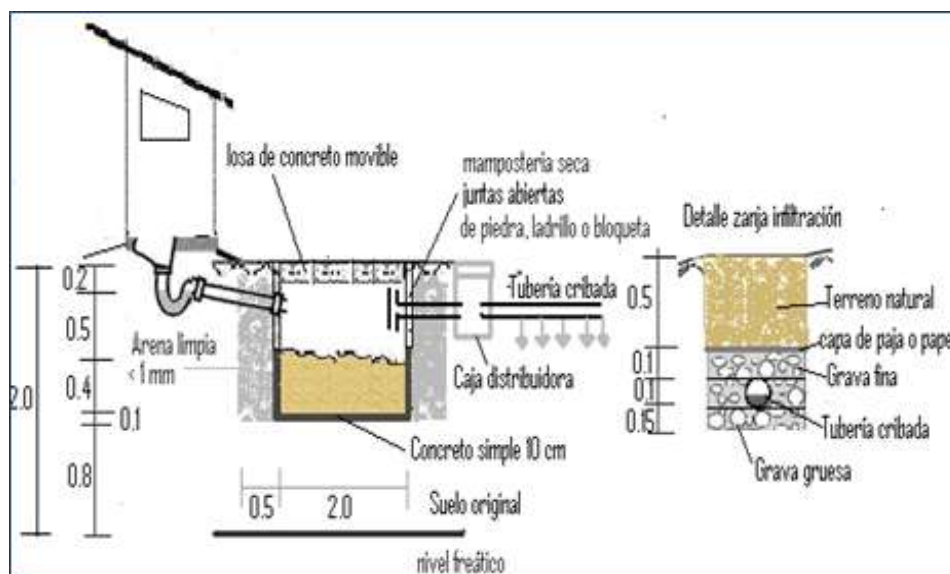
La grasa, el aceite y otros materiales menos densos que el agua flotan en la superficie, formando una capa de espuma que puede llegar a endurecerse considerablemente. El líquido pasa por el depósito entre dos capas constituidas por la espuma y los lodos.

Digestión y compactación de lodos

La materia orgánica contenida en las capas de lodo y espuma es descompuesta por bacterias anaeróbicas, y una parte considerable de esta se convierte en agua y gases. Los lodos que ocupan la parte inferior del depósito se compactan debido al peso del líquido y los sólidos que soportan. Por ello, su volumen es mucho menor que el de los sólidos contenidos en las aguas servidas no tratadas que llegan al depósito. Las burbujas de gas que suben a la superficie crean cierta perturbación en la corriente del líquido. La velocidad del proceso de digestión aumenta con la temperatura, con un máximo de 35°C. Es poco probable que el uso de jabón doméstico ordinario en cantidades normales afecte al proceso de digestión (Truesdale y Mann, 1968), pero el empleo de desinfectantes en grandes cantidades hace que mueran las bacterias, inhibiendo así el proceso de digestión.

Estabilización de los líquidos

Como el efluente de los tanques sépticos es anaeróbico y contiene probablemente un elevado número de agentes patógenos que son una fuente potencial de infección, no debe usarse para regar cultivos, ni descargarse en canales o desagües de aguas superficiales.



Fuente: CEPIS, especificaciones técnicas para el diseño de zanjas y pozas de infiltración

Principios de diseño

Los principios que orientan el diseño de un tanque séptico son los siguientes:

- Prever un tiempo de retención de las aguas servidas en el depósito para la separación de los sólidos y la estabilización del líquido.
- Prever condiciones de estabilidad hidráulica que favorezcan una eficiente sedimentación y flotación de los sólidos.

- Asegurar que el depósito sea lo bastante grande que permita la acumulación de los lodos y la espuma.
- Prevenir las obstrucciones y asegurar la adecuada ventilación de los gases.

Factores que influyen en el diseño

El método de diseño utilizado permite obtener un volumen suficiente para la retención del líquido, la acumulación de los lodos y la espuma. El volumen preciso para la retención del líquido depende del número de usuarios, de la cantidad de aguas residuales que recibe el depósito, además de que lleguen a este los residuos fecales de las letrinas.

Estimación del volumen del tanque séptico

Tiempo de retención

Se supone que es suficiente un tiempo de retención de las aguas servidas de 24 horas. Esto se entiende inmediatamente antes de la remoción de lodos del depósito. Después de la extracción de lodos, el tiempo efectivo de retención será mayor, puesto que el líquido podrá ocupar la parte que anteriormente albergaba los lodos y la espuma.

El tiempo de retención recomendado oscila entre menos de 24 y 72 horas. En teoría, un tiempo más prolongado permite una mejor sedimentación; aunque, por lo común, la tasa de sedimentación máxima se alcanza en las primeras horas.

Volumen para la retención del líquido

Si llegan al tanque séptico no solo los residuos de los baños, sino también las aguas domésticas, la corriente de aguas servidas procedente de una vivienda equivaldrá por lo general a una elevada proporción del abastecimiento de agua. Si se conoce el abastecimiento por persona, se puede estimar que la corriente de aguas servidas será igual al 80% como aproximación adecuada.

La capacidad mínima necesaria para la retención del líquido durante 24 horas es:

$$A = P \times q \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

A = Volumen necesario para la retención del líquido durante 24 horas.

P = Número de personas que utilizan el tanque séptico.

q = Cantidad de aguas servidas por persona (litros diarios).

Volumen para la acumulación de los fangos y la espuma

El volumen necesario para la acumulación de los lodos y la espuma puede ser calculado, según la siguiente expresión:

$$B = P \times N \times F \times S \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

B = Capacidad necesaria de almacenamiento de lodos y espuma, en litros.

N = Número de años que transcurren entre dos operaciones de limpieza de lodos; se puede suponer que estas operaciones son más frecuentes cuando existe un mecanismo de extracción barato y fiable.

F = Factor que relaciona la tasa de digestión de lodos con la temperatura y el intervalo entre dos operaciones de limpieza de lodos, como puede verse en el cuadro adjunto.

S = Tasa de acumulación de fangos y espuma.

Volumen total del depósito

La capacidad total del depósito (C) es:

$$C = A + B \text{ litros} \dots\dots\dots (6)$$

Valor del factor de tamaño F para la determinación del volumen de lodos y espumas

Número de años entre limpieza de lodos	Valor de F		
	Temperatura ambiente		
	> 20°C durante todo el año	> 10°C durante todo el año	< 10°C durante el invierno
1	1.3	1.5	2.5
2	1.0	1.15	1.5
3	1.0	1.0	1.27
4	1.0	1.0	1.15
5	1.0	1.0	1.06
6 o más	1.0	1.0	1.0

Fuente: Franceys, R., Pickford, J. y Reed, R. (1994). Guía para el desarrollo del saneamiento in situ.

Formas y dimensiones del tanque séptico

Una vez determinada la capacidad total del tanque séptico, es necesario determinar su profundidad, ancho y longitud. El objetivo es obtener una distribución uniforme de la corriente, a fin de que no haya zonas inactivas, ni "cortocircuitos" (es decir, líquido que atraviese el depósito en un tiempo inferior al previsto).

El depósito puede estar dividido por tabiques desviadores en dos o más compartimientos. En el primero puede tener lugar la mayor parte de los procesos de sedimentación y digestión, en cuyo caso, solo pasarán al segundo algunos materiales en suspensión. De este modo, cuando llegan repentinamente al depósito grandes cantidades de aguas servidas, si bien, la eficiencia de la sedimentación se reduce, los efectos son menores en el segundo compartimiento.

Zona de infiltración

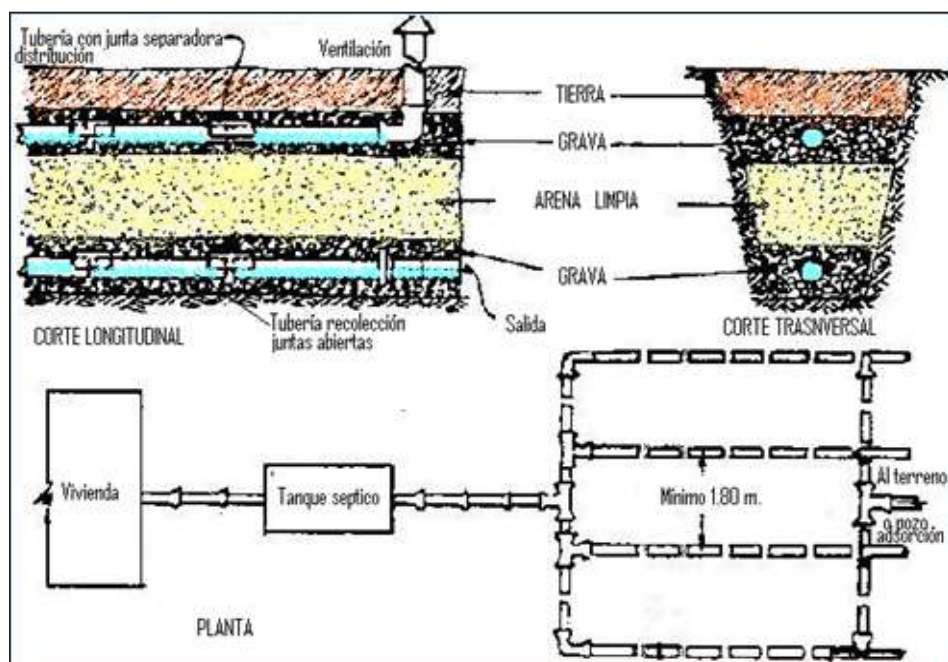
Se debe considerar dos factores fundamentales de diseño para la selección del lugar en donde se producirán las actividades de tratamiento y renovación del agua residual. Estos son la capacidad del suelo que permita filtrar la carga hidráulica deseada y la capacidad del suelo para disminuir la carga contaminante del proceso. La carga del proceso está dada por la materia orgánica, los nutrientes y otros sólidos que están presentes en el agua residual.

La capacidad hidráulica asimilativa de un terreno frecuentemente está determinada por la textura del material del suelo. Áreas con suelos arenosos generalmente reciben cargas hidráulicas altas, mientras que las áreas con suelos de arcilla fina tienen una baja capacidad hidráulica asimilativa, para determinar esta capacidad de infiltración es necesario realizar una prueba de campo, infiltración o conductividad hidráulica (test de percolación).



Ensayo del test de percolación

Cuando se encuentren suelos impermeables cuyos tiempos de infiltración sean mayores a 60 minutos, por cada 5 cm de descenso del nivel del agua en la prueba de infiltración (30 minutos por cada 2,5 cm), o las longitudes de cada ramal en las zanjas de infiltración sean mayores a 30 m, se puede combinar la instalación de un campo de absorción con una segunda tubería para drenaje que recolecte el exceso de líquidos que no puede absorber el terreno, alejándolos para su disposición final, en pozos de absorción, sobre el terreno directamente o en una corriente grande de agua, llamado el sistema como zanja filtro.

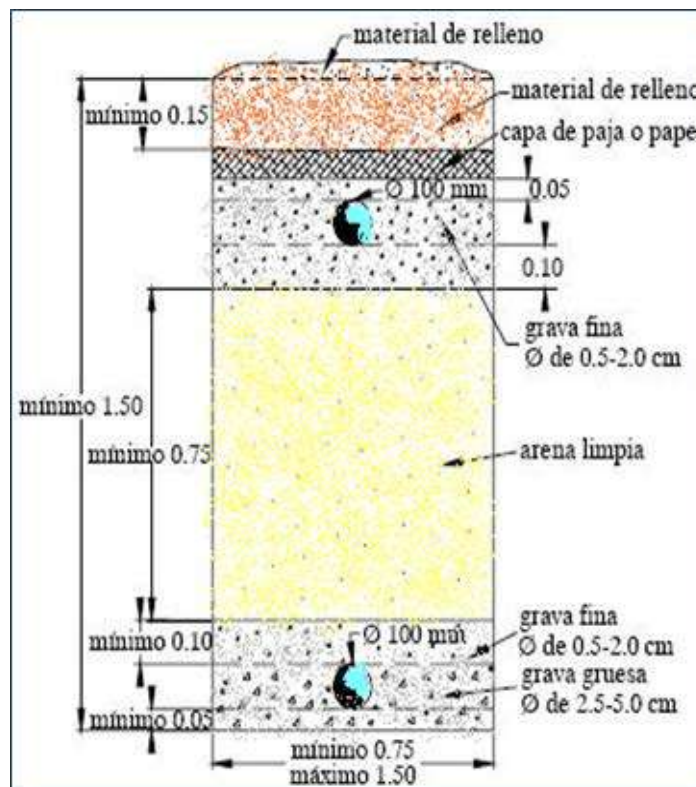


Esquema de proceso de infiltración

Las zanjas de infiltración son semejantes a los sistemas convencionales de infiltración, pero más profundas, para recibir el dren en la parte inferior. El material filtrante es arena fina a través de la cual los líquidos alcanzan un alto grado de depuración que permite disponerlos en la forma anotada.

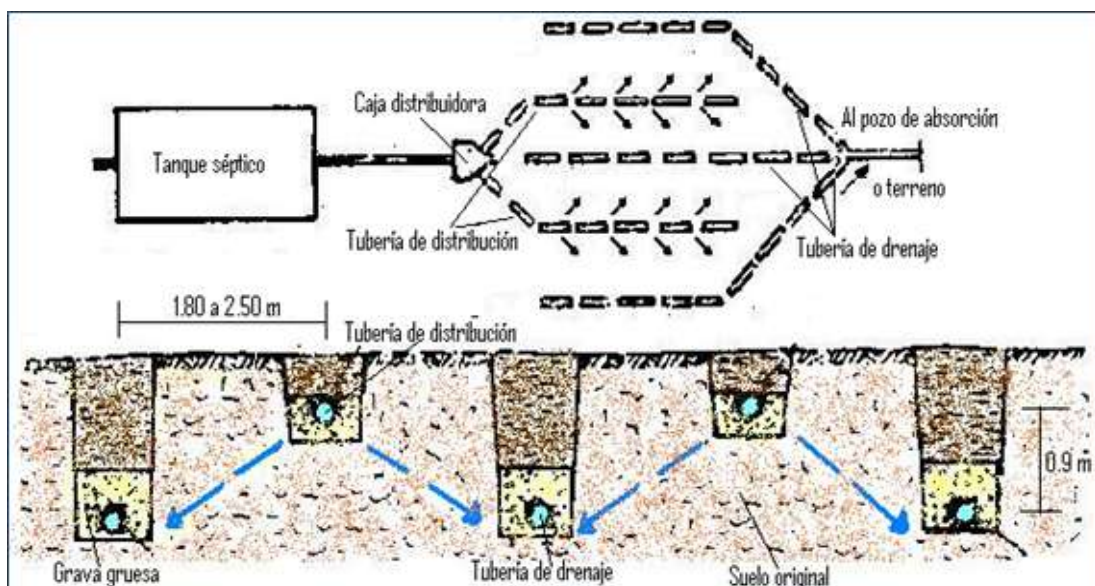
El área necesaria para las zanjas filtro se calculará mediante la división del caudal diario entre la tasa de infiltración seleccionada. La tasa de infiltración de 70 L/m²/día, podrá ser seleccionada para un lecho filtrante de arena limpia de tamaño efectivo entre 0.4 a 0.6 mm; en el caso de arenas con tamaños efectivos menores a 0.25 mm, la tasa de infiltración deberá ser considerada como 50 L/m²/día.

La longitud de la zanja filtro se determinará mediante la división del área útil hallada en el paso anterior entre el ancho de la zanja, siendo recomendable que se tengan como mínimo dos zanjas filtros separadas entre sí por una distancia de 1.80 a 2.50 m horizontalmente y con longitudes no mayores a 20 m, y excepcionalmente 30 m con un ancho de zanja entre 0.75 m y 1.50 m como máximo.

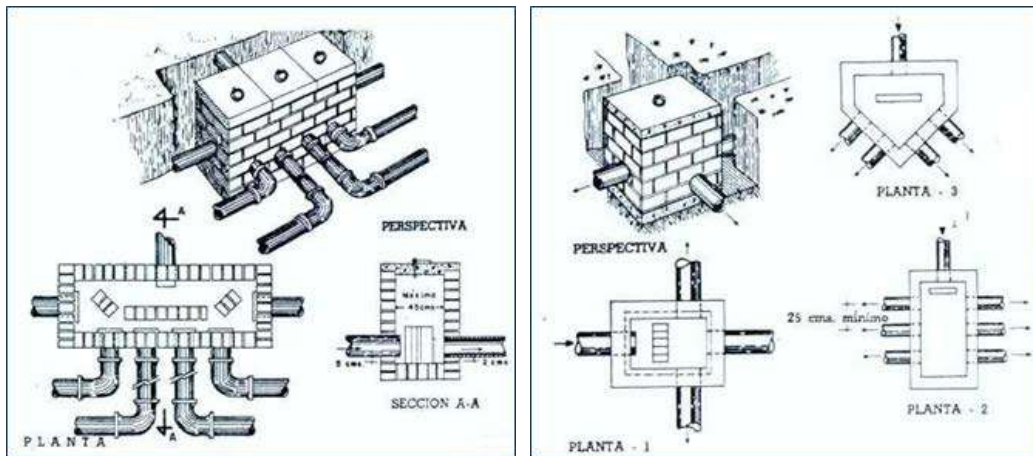


Detalle de zanja filtro

Para suelos relativamente más porosos que en el caso anterior, el material de relleno puede ser grava gruesa, aprovechando la capacidad de infiltración del suelo, ubicando las zanjas de manera independiente, pero situando las zanjas de recolección en planos verticales comprendidos entre dos planos de las tuberías de distribución.



Zanja filtro con suelo original



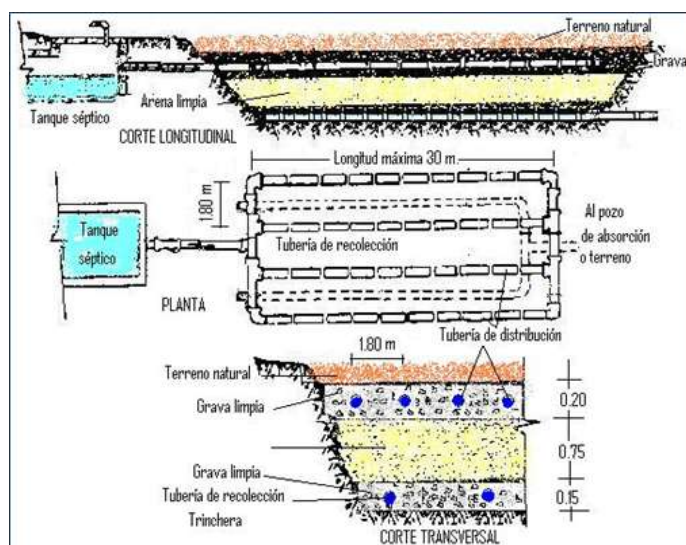
Detalle de cajas de distribución

En este caso, la tasa de infiltración para dimensionar el sistema deberá ser la del suelo natural, esta debe ser calculada mediante la prueba de infiltración.

Si el procedimiento de implementar las zanjas filtros, resultan ser no muy económicas, se puede sustituir el campo de absorción por un área menor de filtración haciendo la excavación en una zona reducida tipo trinchera, rellenándola con arena y grava.

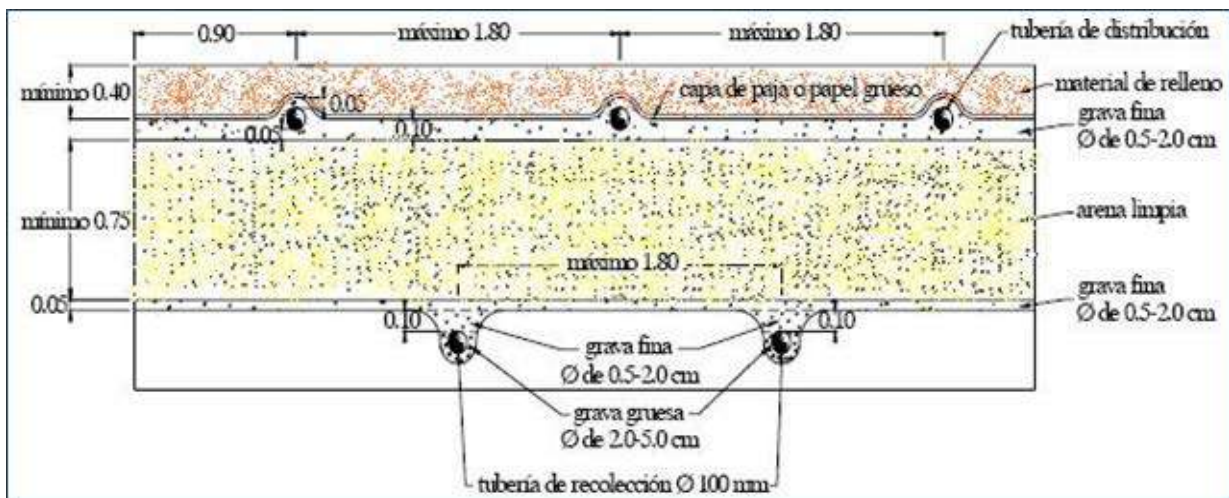
El área necesaria para estos filtros subsuperficiales, se calculará mediante la división del caudal diario entre la tasa de infiltración seleccionada. La tasa de infiltración de 70 L/m²/día, podrá ser seleccionada para un lecho filtrante de arena limpia de tamaño efectivo entre 0.4 a 0.6 mm; en el caso de arenas con tamaños efectivos menores a 0.25 mm, la tasa de infiltración deberá ser considerada como 50 L/m²/día.

La longitud del filtro subsuperficial se determinará mediante la división del área útil obtenida en el paso anterior entre el ancho de la trinchera. Dependiendo de estas longitudes y del área necesaria, es posible tener dos o más trincheras, separadas por un dique natural de terreno.



Filtro subsuperficial de arena

De igual manera en este caso, se instalan las tuberías de drenaje rodeadas de grava gruesa. Sobre esta se instala sucesivamente una capa de grava más delgada, otra de arena limpia de 75 cm como mínimo de altura, por la cual desemboca y ramifica la tubería de infiltración que conduce el líquido residual del tanque séptico. Tanto la tubería de distribución como la del fondo son de 4" con uniones abiertas y ramales separados como mínimo 1.80 m, dispuestos de manera que estos ramales de drenaje queden situados en planos verticales comprendidos entre cada dos ramales en los planos de las tuberías de infiltración.



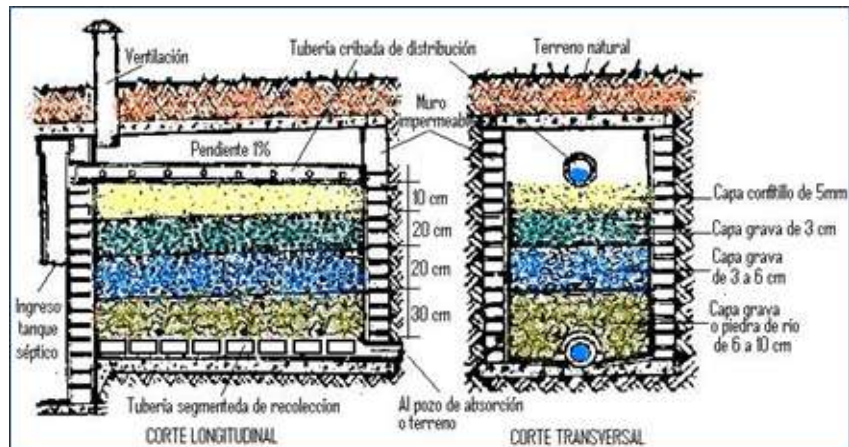
Detalle filtro subsuperficial de arena

Cuando el terreno sea pequeño para construir un campo de infiltración o un filtro subsuperficial de arena, se puede instalar un filtro anexo al tanque séptico, hecho de material impermeable, enterrado y tapado, con una ventilación exterior, relleno de piedra triturada denominado cámara de oxidación.

Sus dimensiones se calcularán a razón de 0.10 m³ de material filtrante por persona, no se recomienda para tanques sépticos de volumen mayor a 3,000 litros. El efluente séptico se distribuye por medio de tubos perforados sobre el material filtrante, recogiéndose en drenes localizados en el fondo, conectados a un pozo de absorción para su disposición final.

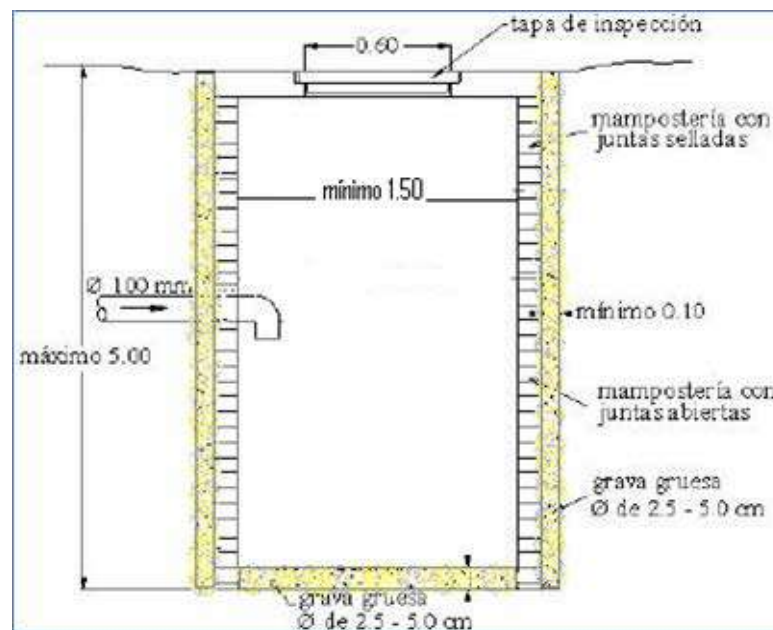
La longitud mínima recomendada para 10 usuarios es de: largo = 1.80 m, ancho = 0.70 m y una altura de 1.10 m (dimensiones interiores). En función a la cantidad de personas adicionales que usen del servicio, se debe de adecuar las dimensiones en planta.

Las aguas provenientes de las zanjas filtro, filtros subsuperficiales y cámaras de oxidación, pueden disponerse en un curso de agua.



Cámara de oxidación

Sin embargo, el medio más recomendable para disponerlas es la tierra y el método adecuado es el pozo de absorción, generalmente de forma cilíndrica, en donde las aguas se infiltran al subsuelo a través de las paredes y piso permeables de este sistema.



Fuente: CEPIS, especificaciones técnicas para el diseño de zanjas y pozos de infiltración

Las dimensiones y número de pozos necesarios dependerán de los volúmenes de agua residual, que llegue al mismo y de la permeabilidad del terreno, pudiendo existir más de dos pozos, abastecidos por cajas distribuidoras de flujo.

El área efectiva de absorción lo constituye la superficie exterior del diámetro del pozo, siendo calculado el área útil de infiltración mediante la división del caudal diario entre la tasa de infiltración. La profundidad útil del pozo, se calcula mediante la división del área útil para la infiltración y la superficie lateral del cilindro.

Actualmente, se viene utilizando para el sistema de tratamiento los biodigestores, sistema que recoge el concepto del tanque Imhoff, pero construido en polietileno, constituido por dos cámaras, una superior o de sedimentación por la que pasan las aguas negras a una velocidad muy reducida, permitiendo el asentamiento de la materia en suspensión y una cámara inferior o de digestión, en la cual se desarrolla la descomposición anaerobia de la materia sedimentada. La particularidad de esta tecnología, es que los lodos pueden ser extraídos aprovechando la carga hidráulica mediante una tubería de extracción de lodos, provista de una válvula de limpieza.



Tanques sépticos mejorados de polietileno (biodigestores)

La caseta

La caseta del baño debe reunir ciertos requisitos como: el tamaño, la ventilación, iluminación y facilidad de limpieza. Las primeras experiencias se implementaron con casetas simples y algo precarias; posteriormente, se modificaron y se adicionó una zona para la ducha.

Los materiales utilizados para la construcción de la caseta preferentemente deben ser de la zona y apropiados al contexto, propiciando el aporte del usuario en el mejoramiento de su módulo sanitario.



Módulos sanitarios con sistema de arrastre hidráulico, Cusco

Criterios económicos

El diseño de los baños debe ser adecuado a la realidad, debiendo tener un costo accesible, esto se consigue básicamente incluyendo la participación de los usuarios en todo el proceso de implementación.

e) Metodología

La metodología de intervención considera 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 para el acceso al agua potable a través de conexiones domiciliarias y servicios de eliminación de excretas, acompañando a las familias en el uso y mantenimiento del módulo sanitario, promoviendo la apropiación de los servicios que permita garantizar la sostenibilidad de los mismos.

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 de la población. La promoción consiste en organizar, sensibilizar y concientizar a nivel institucional y comunal para la ejecución de las acciones de educación sanitaria y acompañamiento a la población antes, durante y después de la intervención:

- ✓ Antes de la ejecución del sistema, 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 en la tenencia, uso y mantenimiento de los servicios de eliminación de excretas.
- ✓ Durante la ejecución de la intervención, los usuarios participan en el desarrollo de las acciones sociales, talleres de promoción y en la construcción de los servicios aportando la mano de obra local y los materiales de la zona (piedra, arena, hormigón, adobe, etc.), y se apoya con materiales industrializados y mano de obra calificada.
- ✓ 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 del establecimiento de salud del ámbito e involucrando a los gobiernos locales en todo el proceso, desde sus áreas técnicas municipales (ATM).

La experiencia demuestra que la sola instalación del sistema de saneamiento no produce por sí solo beneficios para la salud, evidenciándose que la incorporación de la educación sanitaria y la adopción de las prácticas de higiene, tales como la disposición adecuada de excretas y el lavado de manos pueden reducir hasta en un 35% o más la tasa de enfermedades diarreicas agudas, contribuyendo en la mejora de las condiciones de vida de las familias en comunidades rurales.

f) Costos

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 en el orden del 60% (el costo aproximado de estos baños estaba en un rango de S/ 1,500.00 a S/. 3,500.00).

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 varían entre S/ 4,500.00 a S/ 8,500.00, dependiendo de las características específicas del servicio.

g) Los riesgos de contaminación

Uno de los aspectos que usualmente han sido identificados como limitantes al aplicar esta opción tecnológica in situ, 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. 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 resistentes. 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 originar 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 circula 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 agua del efluente penetre en estas cuando estén vacías o cuando la presión es baja.

Existe un riesgo de contaminación del suelo superficial debido a las fuerzas capilares que hay en los microporos del suelo del efluente, 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.

Considerando que las condiciones de descarga del agua residual son controladas para los sistemas con pozo, es decir a través de baldes con agua para producir el arrastre, independizando y sectorizando todo tipo de descarga de aguas grises de otros puntos como duchas, lavaderos,

etc., el nivel de contaminación en el suelo es el mismo que el que podría producir un sistema seco, siempre y cuando el sistema de saneamiento esté adecuadamente diseñado y sea operado manualmente con baldes, para una familia promedio rural.

Se recomienda que la existencia de 1 a 2 metros de suelo arenoso no saturado bajo un pozo, será una protección adecuada contra la contaminación de las aguas subterráneas y es probable que esta solo se extienda lateralmente.

h) Resultados

- 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 el lavadero de uso múltiple o lavatorio, con una ubicación muy próxima a la vivienda dentro del entorno familiar y por estar localizada cerca al punto de agua, favorece la práctica del lavado de manos, después de hacer uso del servicio.
- Brinda un servicio parecido al existente en muchas zonas urbanas, 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.
- Implementación de esta opción tecnológica en comunidades dispersas, semidispersas y concentradas, en las cuales se ha ubicado convenientemente el sistema de infiltración, 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 y/o tanques sépticos.
- Los usuarios están motivados para realizar mejoras en el acabado y elementos adicionales en su módulo sanitario, puesto que la caseta del servicio higiénico, se construye una sola vez para toda la vida útil del sistema.
- La inclusión de las duchas dentro de los módulos se está generalizando, favoreciendo la higiene corporal.
- Los terrenos arcillosos o con nivel freático alto, no representan limitante para desarrollar esta opción, pudiendo ser adecuada a nuevas zonas de infiltración según la disponibilidad del terreno.
- Las casetas son más ventiladas e iluminadas, favoreciendo el acceso y la aceptación de los usuarios.

i) Recomendaciones

- La ubicación del baño debe estar cerca al lavadero o lavatorio para facilitar el lavado de manos, así también, el acarreo de un balde con agua para realizar la descarga en el punto de desagüe.
- En todos los casos, el agua residual (gris), producida por la ducha, lavatorios y otros aparatos, debe ser infiltrada independientemente en pozos percoladores, evitando el ingreso de este caudal a los pozos, tanques sépticos y/o biodigestores.
- Es importante promocionar el empleo de una papelerera dentro del baño que sirva de recipiente para los insumos de limpieza anal (papel, hojas), enfatizando el cuidado de no arrojar estos dentro de los sanitarios, a fin de evitar una posible obstrucción.
- Las primeras experiencias, promovieron el uso de baldes con agua para el funcionamiento de estos baños con losa de piso, de esta manera, se controlaron los caudales necesarios para su funcionamiento y no se afectó el agua para consumo. Con la inclusión de los inodoros es importante controlar periódicamente que el sistema de cierre automático esté funcionando adecuadamente y evitar desperdicios de agua, recomendándose en algunos casos inodoros, pero sin el tanque de agua bajo, es decir para que funcionen adicionando agua manualmente, esta decisión dependerá de la cantidad de agua disponible, el nivel de organización comunal y el contexto en el que se plantea la tecnología.
- 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 con mampostería de piedra o ladrillo para el caso de los sistemas de disposición directa.
- Es necesario realizar un control de calidad a la losa de piso del tipo turco, para garantizar un buen sello de agua; en campo, se ha detectado defectos en la fabricación de algunos accesorios, como la trampa para el sello de agua que no permite un buen cierre hidráulico.
- No es recomendable construir baños con arrastre hidráulico cuando la fuente de agua no asegure la dotación per cápita según el requerimiento; en estas zonas, se debe proponer 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 constaten niveles de contaminación, se sugiere el uso de biodigestores y en algunos casos humedales superficiales que permitan superar estas limitaciones. Otra posibilidad es acondicionar el terreno para sistemas complementarios de infiltración como las zanjas filtro o los filtros subsuperficiales de arena.

j) Lecciones aprendidas

- El éxito en la provisión de sistemas de eliminación de excretas in situ se relaciona en forma directa con la demanda. La demanda de los baños de arrastre hidráulico es mayor que las letrinas secas en las comunidades alto andinas y del valle tropical, y la poca aceptación de las letrinas secas por parte de los usuarios se debe principalmente a la presencia de malos olores e insectos.
- La estrategia de promoción del saneamiento debe ser integral incluyendo la instalación del agua potable y baños, acompañado del componente social con prioridad en la 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 es un elemento positivo que promueve las nuevas prácticas de higiene personal y familiar, en la zona alto andina y de valle tropical.
- La participación e involucramiento del usuario antes y durante la construcción del módulo sanitario, garantiza el uso y mantenimiento del servicio de saneamiento. Este proceso se ve favorecido cuando se ha impartido la educación sanitaria e información clara a las familias sobre las ventajas y desventajas, costos y vida útil de los baños, lo que redundará en una mayor valoración, participación en el proceso constructivo, sostenibilidad del servicio y mejora del "estatus social" comparativamente con las zonas urbanas.

3.2 Baños secos ecológicos

a) Presentación

La mayor contaminación del suelo y agua se produce por la diseminación de la excreta humana, por lo que se requiere de un método para disponerlas sanitariamente. El saneamiento ecológico, también conocido como ECOSAN, es un proceso de saneamiento de aguas negras. Los sistemas ECOSAN permiten la recuperación de nutrientes de los residuos orgánicos originados por las heces y la orina humana y ser utilizados en beneficio de la agricultura; contribuyendo en la conservación de la fertilidad del suelo, la seguridad alimentaria, reducir al mínimo la contaminación del agua, utilizar y reciclar el agua de manera económica y segura.

El saneamiento ecológico se presenta como una alternativa al saneamiento convencional. Se sustenta en un enfoque ecológico que considera a la orina y las heces como un valioso recurso que debe ser reciclado; basándose en tres aspectos fundamentales: convertir la excreta humana en material seguro, prevenir la contaminación en vez de controlarla después de contaminar y usarla en la agricultura. Este enfoque puede llamarse sanear y reciclar, valora a la excreta humana como un recurso y no como un peligro.

b) Antecedentes

El éxito en la implementación de sistemas de saneamiento in situ con arrastre hidráulico, al masificarse enfrentó contextos en los cuales la tecnología presentó limitaciones, como la poca cantidad de agua disponible en algunas comunidades que no permitía contar con suficiente caudal para el arrastre y en especial por la existencia de terrenos arcillosos, rocosos y con nivel freático alto.

Para enfrentar estos nuevos retos, se implementan algunas experiencias con sistemas secos ecológicos tradicionales de doble cámara y paralelamente se aprovecha la experiencia de la Empresa Rotaria del Perú SAC, que venía trabajando con el auspicio de la GIZ (Cooperación Alemana al Desarrollo), para que los gobiernos regionales a través de sus Direcciones Regionales de Vivienda, Construcción y Saneamiento, promuevan sistemas de saneamiento ecológico, en contextos donde los sistemas convencionales no puedan ser implementados, teniendo en cuenta las condiciones económicas, ecológicas y estructurales.

Los métodos secos para procesar heces y destruir patógenos son más efectivos que los métodos húmedos (flujo y descarga). La combinación de baja humedad, bajo nivel de nutrientes/materia orgánica y un pH elevado es propicia para una destrucción rápida.



Aparato sanitario con desviador de orina

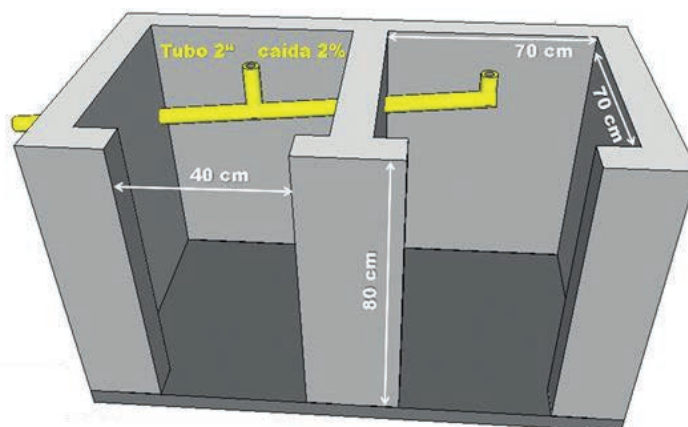


Vista exterior de las cámaras colectoras de lodo

c) Descripción de la tecnología

El sanitario ecológico seco, cuenta con dos cámaras construidas sobre el nivel del piso; cada una de ellas con un volumen aproximado de 60 cm³. Desde un colector, la orina fluye por una manguera hacia un pozo de absorción debajo de la cámara o puede ser almacenada para su posterior reuso. Las heces caen directamente en la cámara seca. Después de utilizar el servicio, el usuario espolvorea sobre la excreta algún material secante, como ceniza, tierra, o una mezcla de tierra o aserrín y cal.

Cada semana con una vara, una persona mezcla el material y le incrementa material secante. Cuando la primera cámara está casi llena, se le agrega tierra hasta el borde y se cierra la taza. En ese momento se habilita la segunda cámara. Aproximadamente un año después, o cuando la segunda cámara está casi llena, se abre la primera y se realiza la limpieza. Una familia de 5 a 6 miembros producirá anualmente casi medio metro cúbico de materia deshidratada desodorizada.



Vista panorámica del sistema instalado

El sistema consiste en una taza con desviador de orina, instalada al interior del baño. Debajo de este, se ubican las cámaras o contenedores, en las que se almacenan las excretas hasta su transformación en composta.

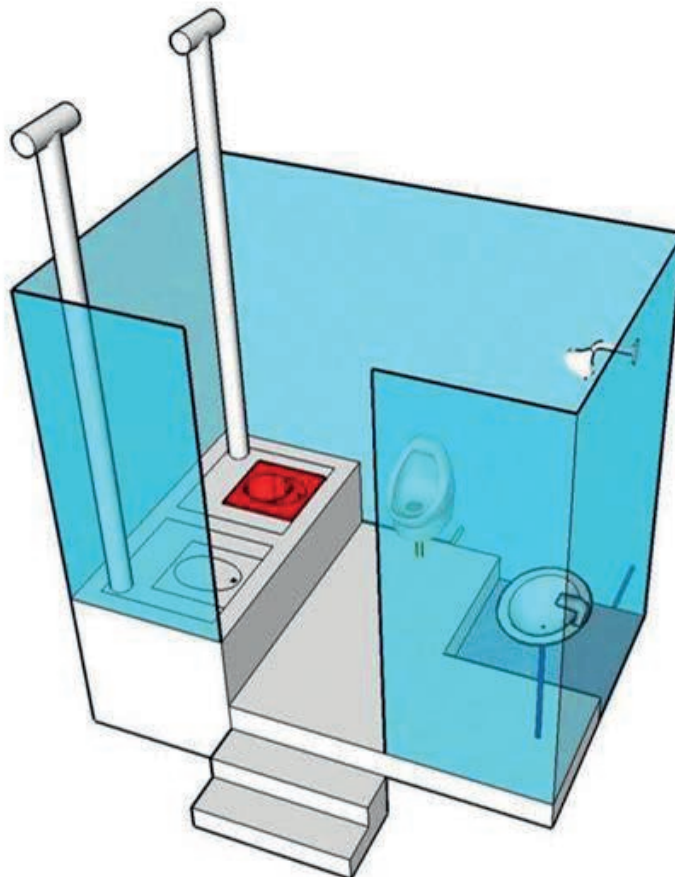


Aparatos sanitarios mejorados con desviador de orina

El sistema está provisto de ventilación y aireación. La ventilación tiene varios propósitos: elimina los olores, seca el contenido y provee el oxígeno necesario para el proceso de descomposición. Tiene un tubo de ventilación cuyo funcionamiento está determinado por las condiciones climáticas y la humedad del material fecal que entra a la cámara. Con un buen conducto de ventilación que salga de la cámara de tratamiento, el sanitario puede estar totalmente libre de olores, ya que el aire del cuarto se ventila vía el sanitario separador.

El material secante como la ceniza, aserrín, hojas secas, cal y tierra seca, se utilizan para reducir los olores y absorber la humedad excesiva. Estos materiales deben usarse inmediatamente después de defecar para así cubrir las heces frescas.

Convencionalmente, estos baños se han instalado con escalones y se ubicaban sobre el terreno a fin de acceder a las cámaras; una innovación interesante y práctica para evitar sobreelevar la caseta, es considerar un sanitario el cual descansa sobre las cámaras y sea movible fácilmente, de tal manera que el usuario se siente sobre las cámaras y no se pare sobre estas con la finalidad de disminuir el número de escalones.



Vista en perspectiva del baño seco ecológico



Aparatos sanitarios con desviador de orina móviles

El uso de materiales para la limpieza anal varía con las culturas, algunas utilizan papel, hojas de plantas y piedras. La disposición inapropiada de materiales higiénicos en el sanitario puede causar problemas, si complementariamente, se depositan a la taza los tampones higiénicos, residuos plásticos, toallas sanitarias, etc. Si bien, los sistemas secos pueden soportar todo tipo de papeles u objetos sólidos, se recomienda preferentemente depositarlos en un recipiente colocado al costado de la taza, para después disponerlos adecuadamente en microrellenos sanitarios.

La mayor parte de los nutrientes de la excreta humana se encuentran en la orina. Un adulto puede producir cerca de 400 L de orina al año, que a su vez contienen 4 Kg de nitrógeno, 400 g de fósforo y 900 g de potasio. Los nutrientes se encuentran en la forma ideal para ser aprovechados por las plantas: el nitrógeno en forma de urea, el fósforo como superfosfato y el potasio como ion. Cuando la orina se recolecta para usarse como fertilizante, es importante almacenarla de tal manera que se eviten olores y la pérdida del nitrógeno en el aire, por lo cual el sistema cuenta con un urinario para facilitar su colecta y adaptarse a las necesidades del varón.



Urinario separador de orina



Recipiente recolector de orina



Aparato sanitario móvil con collarín

d) Recomendaciones

- El material de la taza separadora de ser duradero y de fácil limpieza, materiales como el cemento, granito o cualquier otro material poroso, dificultan la buena limpieza y la higiene del sistema y a la vez permiten que la orina se impregne en estos y genere mal olor. Por otro lado, dimensiones inapropiadas de los inodoros separadores, cuando son fabricados localmente han limitado el buen funcionamiento de estos baños, recomendándose adquirir productos con un material adecuado y de proveedores confiables.
- Es recomendable contar con dispositivos que disminuyan las dimensiones del sanitario y faciliten su uso sobre todo para los niños menores de 5 años, para lo cual hay que proveer collarines auxiliares móviles que pueden ser adquiridos conjuntamente con los sanitarios.
- Si se realizan los procedimientos correctos (secado y almacenamiento de excretas), resulta seguro utilizar las excretas sólidas digeridas en el jardín como mejorador de suelo. Sin embargo, para evitar cualquier riesgo de contaminación, no se recomienda su uso en plantas comestibles.

- La orina requiere un tiempo de almacenamiento que dependerá de la temperatura del ambiente, entre 15 días para climas cálidos y hasta 3 meses en climas muy fríos, pudiendo ser diluido con agua en una proporción de 1:2 o de 1:5, y poder utilizarla como fertilizante de plantas ornamentales, franjas herbáceas, árboles frutales y jardines.
- Es posible que los lados de las cámaras ocasionalmente se ensucien con orina o heces, una de las recomendaciones es espolvorear algo del material absorbente para que se impregne y limpiarlo utilizando un cepillo de inodoro con poca cantidad de agua, también es necesario limpiar el asiento periódicamente como se haría con cualquier otro inodoro.
 - Los sistemas ECOSAN deben apoyarse en la comprensión de sus elementos básicos y como se correlacionan para su sostenibilidad, siendo estos: (i) La naturaleza que influye y no debe ser afectada por dichos sistemas; (ii) El posible impacto en el nivel de accesibilidad del agua y los recursos en peligro de ser contaminados; (iii) Las implicancias culturales y de comportamiento de los usuarios; (iv) Mantener las condiciones adecuadas para que funcione de manera óptima; y, (v) Las principales características del aparato sanitario, su diseño, uso y cuidados adecuados. En aquellos lugares donde el sistema, concepto o tecnología es novedoso o poco familiar, se requerirá de un trabajo social de promoción y capacitación.
 - Es particularmente importante que las mujeres estén incluidas en el proceso de empoderamiento y promoción de la comunidad desde su inicio. Las mujeres son las responsables del abastecimiento del agua en sus viviendas, de la sanidad, de la higiene y de la preparación de alimentos. Sus puntos de vista y preocupaciones deben expresarse e incluirse en el diseño del proyecto.
 - El éxito del sistema ECOSAN en el largo plazo, dependerá de la confianza por parte de los usuarios potenciales. Para que el sistema forme parte integral de la cultura local debe demostrarse su funcionalidad con el fin de ser aceptado por los líderes locales reconocidos y los generadores de opinión. La visita a una vivienda que dispone de un baño seco ecológico que funciona bien, es una de las mejores maneras de demostrar la funcionalidad y confiabilidad del sistema. Las familias clave son un valioso mecanismo para promover e introducir los conceptos de baños secos ecológicos a la comunidad.
 - Cuando las dos cámaras (contenedores) se llenan y el usuario debe proceder a la limpieza de la cámara más antigua, es recomendable el soporte técnico por parte de las áreas técnicas municipales de los gobiernos locales.

3.3 Alcantarillado de pequeño diámetro

a) Presentación

Se denomina alcantarillado al sistema de estructuras y tuberías usadas para el transporte de aguas residuales o servidas, desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se vierten o se tratan. Las redes de alcantarillado son estructuras hidráulicas que funcionan a presión atmosférica, muy raramente y por tramos cortos, están constituidos por tuberías que trabajan bajo presión. Generalmente, están constituidos por tuberías de sección circular, enterradas la mayoría de las veces bajo las vías públicas.

Por mucho tiempo, los alcantarillados convencionales han sido los sistemas tradicionales utilizados para la recolección y transporte de aguas residuales hasta los sitios de disposición final, que incluyen en algunos casos las aguas pluviales que son recolectadas y transportadas por el mismo sistema.

Debido a los altos costos de construcción de estos sistemas convencionales, se han innovado algunos sistemas y simplificado su diseño y construcción, reduciéndose diámetros y la disponibilidad de mejores equipos de mantenimiento que permitan disminuir la cantidad de pozos de inspección, uno de estos corresponde a los alcantarillados de pequeño diámetro o sin arrastre de sólidos.

b) Descripción de la tecnología

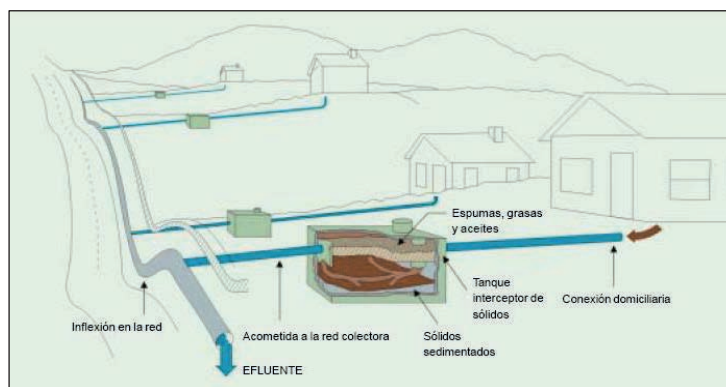
Los sistemas de alcantarillado de pequeño diámetro, también conocidos como sistemas sin arrastre de sólidos, fueron concebidos originalmente en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, en la década de los años sesenta. Están diseñados con el fin de que los colectores de la red solo reciban la porción líquida proveniente de las aguas residuales domésticas, los residuos sólidos son separados del flujo de desechos en tanques interceptores instalados en cada punto de servicio cerca al baño.

A diferencia del alcantarillado convencional por gravedad que tiene un diseño como canal abierto, el alcantarillado de pequeño diámetro puede ser diseñado por 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 dos: el primero, se ubica en la sección donde del tubo cambia de totalmente lleno a canal abierto y el segundo, se produce en los puntos extremos largos. El sistema debe ser diseñado con un perfil hidráulico por debajo de las salidas de los tanques interceptores para evitar el represamiento en estos y el ingreso de las aguas residuales hacia el interior de las viviendas.

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 asentamientos rurales.

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 50 L/hab/día.



Fuente: Documento introducción al alcantarillado sanitario, Ing. Pedro Ortiz B., 2014.

c) Ventajas

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 interceptor (séptico), a diferencia de los alcantarillados convencionales, los de pequeño diámetro pueden emplearse sin temor a las obstrucciones 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 el material no es necesario que las redes se diseñen para mantener una velocidad de flujo mínima que permita su autolimpieza; por ello, en vez de instalarlos en una línea recta con gradiente uniforme, 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, debido a la acción igualadora y compensadora del tanque interceptor, el tamaño de las redes no convencionales se verán reducidas; además, los elevados costos de los pozos de inspección serán 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 a 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 a una quinta parte del costo del sistema convencional; por otro lado, el sistema proporciona el tratamiento primario y quienes se encargan de la construcción y operación son los usuarios.

d) Desventajas

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 solo 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 todo las conexiones ilegales y es posible que no instalen tanques interceptores, y de esta manera se introduzcan sólidos en un sistema que no está diseñado para manejarlos; de darse esta situación, podría crearse serios problemas operacionales.
- El sistema no permite el ingreso de aguas residuales de tipo comercial que contengan alto contenido de arena o sólidos sedimentables; los restaurantes pueden ser conectados, si están equipados con trampa de grasas eficientes.
- Los olores son el problema más común, se producen cuando el sulfuro de hidrógeno del efluente del tanque séptico escapa a la atmósfera y cuando los sistemas de ventilación de la vivienda son inadecuados. El diseño apropiado de ingeniería puede controlar los problemas de olor.

e) Componentes del sistema de alcantarillado de pequeño diámetro

Tuberías

Las tuberías de PVC o de polietileno de baja densidad se utilizan para los colectores de pequeño diámetro, sus ventajas incluyen: el 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, estos deben considerar los siguientes aspectos:

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



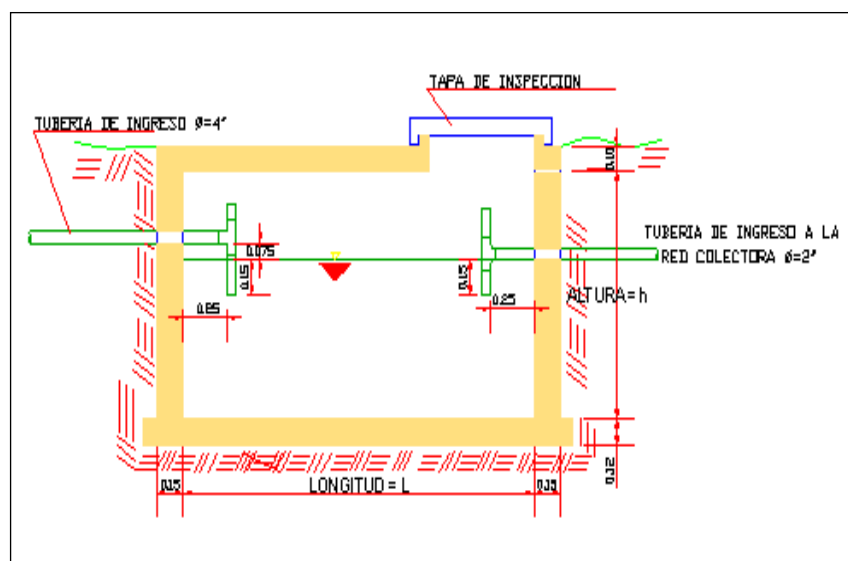
Tendido de red colectora

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 quizás se necesite otros retiros fronterizos especiales.

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 los sólidos flotantes y los sedimentables; asimismo, proporciona un considerable volumen de espacio para el almacenamiento de los sólidos, los cuales, se extraen periódicamente desde la parte superior de la losa; comúnmente, se utiliza como tanque interceptor un tanque séptico de una sola cámara.



Esquema del tanque interceptor

El tanque interceptor cumple cuatro funciones:

- **Sedimentación**, la función principal del tanque es remover los sólidos en suspensión de las aguas residuales; se diseña con la finalidad de proporcionar condiciones de quietamiento por un lapso suficiente permitiendo que los sólidos sedimentables se depositen en el fondo y los sólidos flotantes lleguen a la superficie.
- **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.
- **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 anóxicos y de mal olor.
- **Atenuación del flujo**, los tanques interceptores proveen un almacenamiento igualador limitado que reduce el flujo máximo; se han registrado casos donde el caudal se ha reducido de 11 L/hora a menos de 4 L/hora; esta atenuación aumenta a medida que se incrementa el área superficial líquida del tanque.

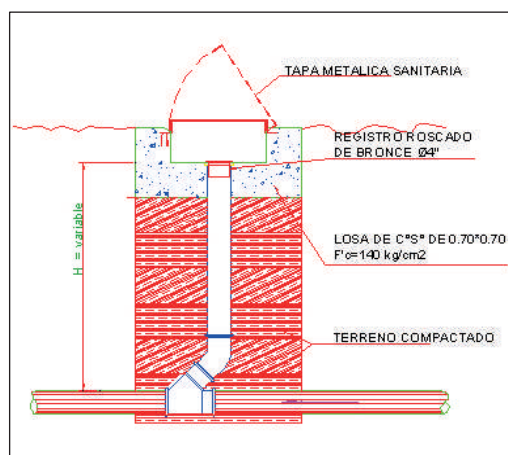


Tanque interceptor en funcionamiento

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 inspección porque cuestan menos y pueden sellarse herméticamente; evitándose así, la mayor parte de la infiltración y arena que comúnmente ingresan a través de las paredes y tapas de las cajas de inspección. Estas cajas se recomiendan ubicarlas en los encuentros principales de los colectores, en cambios muy bruscos de dirección, o en sitios donde es difícil construir un registro, cuando la tubería se encuentra muy profunda.

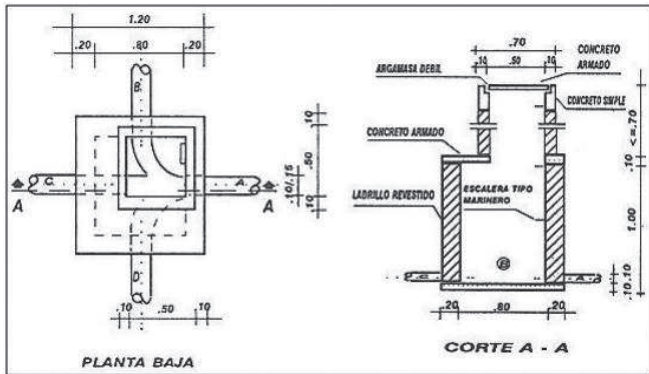
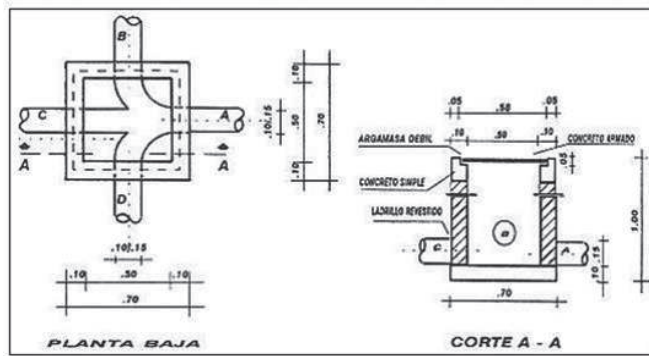
Los registros de inspección y limpieza deben estar dispuestos en las cabeceras de la red, en el cruce de dos o más colectores, en cambios muy bruscos de dirección, en los puntos altos para evitar la acumulación de gases y en tramos rectos a intervalos de 120 a 300 m.



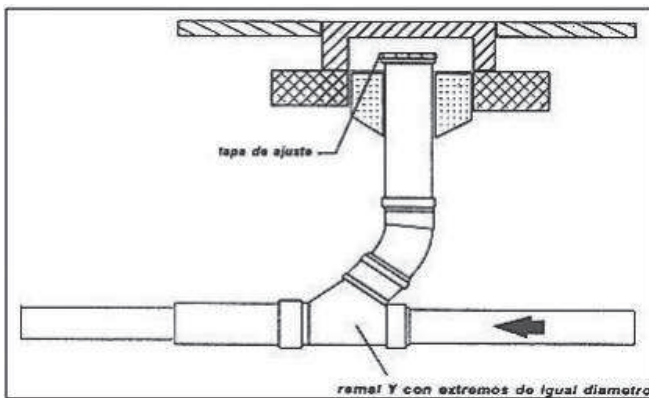
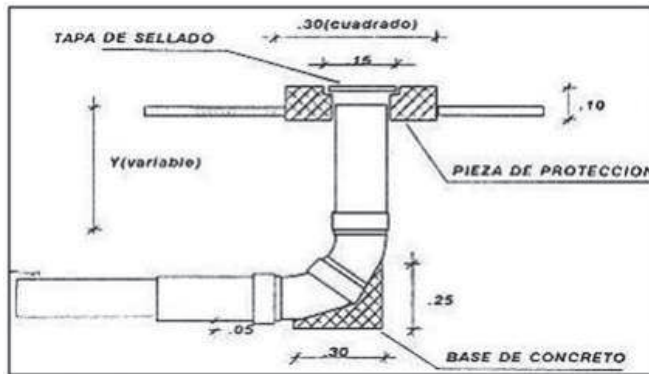
Detalle del buzón



Construcción de buzón



Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones. Diagrama cajas de inspección.



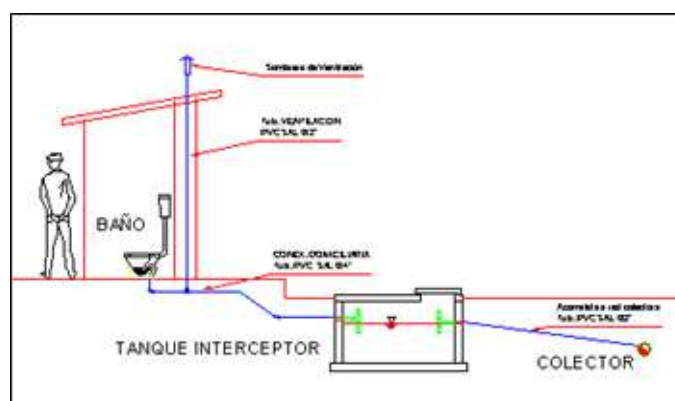
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones. Diagrama de colectores.

Colector del inmueble

Este colector debería ser una tubería de 75 a 100 mm de diámetro, instalada con una gradiente negativa uniforme suficiente que permita el transporte de los sólidos fecales, con una longitud no tan grande para que no se depositen los sólidos en la línea. Las gradientes recomendadas son las siguientes: (i) 1 a 30 para tubería de 75 mm y (ii) 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 hechas 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, es necesario procurar que la conexión se realice en ese punto, de tal manera que funcione como aliviadero de aire.



Esquema del servicio de alcantarillado con pequeño diámetro

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, ubicándolos 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.

f) Experiencia en el Centro Poblado de Atapata, región Cusco

La experiencia de instalación de un sistema de alcantarillado de pequeño diámetro en la comunidad de Atapata, Cusco (1999), se realizó como una experiencia piloto con el apoyo de la COSUDE.

Resultados

- Aceptación de la tecnología por parte de la población usuaria.
- Demanda de otras comunidades aledañas a la zona para la instalación de esta tecnología validada.
- Dotación de agua reducida, debido a que los alcantarillados no están diseñados para transportar sólidos y no se necesitan grandes cantidades de agua.
- Menores costos de excavación. Al no existir sólidos, no es necesario garantizar flujo con velocidades mínimas de autolimpieza, disminuyendo la pendiente de los colectores y trabajos de excavación.
- Mínimo costo de materiales, diámetros de tubería reducidos y puntos de limpieza e inspección menos costosos.
- El tratamiento de aguas servidas es mínimo, se trata únicamente la porción líquida.
- Reducción de los costos de inversión (aprox. 40% menos) frente a un sistema de alcantarillado convencional.
- 85% de las familias disponen de este servicio.
- 98% de los usuarios directos manifiestan un alto nivel de satisfacción con el tipo de servicio, por no generar malos olores.
- 40% de las familias realiza el lavado de manos después de usar el servicio, evidenciando la mejora en la práctica de los hábitos de higiene en la población.
- 94% de los usuarios realiza un uso adecuado (limpieza y mantenimiento) de los servicios.
- Disminución de la tasa de incidencia de EDA de 250 a 63,6 x 1000 hab.

Factores facilitadores

- Existencia de un sistema con continuidad de abastecimiento de agua potable a nivel de conexión domiciliaria.
- Topografía adecuada en la zona para la implementación de esta tecnología y existencia de un espacio a nivel domiciliario para la construcción del tanque y la previsión de un lecho de secado o reutilización de los lodos como abono 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.

Principales obstáculos

- Algunos usuarios desconfían de la ubicación del baño con arrastre hidráulico dentro de su vivienda, puesto que tienen la percepción de que se presentarán malos olores, como los que se han producido al instalarse 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.

Conclusiones y recomendaciones

En lo técnico

- La localización de los baños debe estar lo más próximo a la ubicación de un punto de agua dentro de cada domicilio.
- La construcción de las tapas en los tanques interceptores, debe responder a un diseño que permita su fácil manipulación y limpieza.
- En lo posible el insumo utilizado para la limpieza personal debe ser eliminado en un recipiente dentro del baño, para su posterior tratamiento como residuos sólidos (enterrado, incinerado, etc.).
- Es factible hacer uso de otras tecnologías complementarias, como la del ferrocemento en la construcción de los tanques que permitan optimizar aún más los costos.
- Es recomendable emplear bombas manuales de lodos para la extracción de los residuos, en forma adicional a lo previsto con la finalidad de realizar la limpieza del lodo digerido.
- En lo social
- La educación sanitaria se constituye en un factor importante para la apropiación de los servicios y la adopción de hábitos de higiene saludables.
- El tipo de servicio ha generado expectativa, interés y demanda en comunidades aledañas.
- A diferencia de la letrina se puede ubicar el servicio dentro del entorno de la vivienda.
- El mantenimiento del tanque es responsabilidad del usuario, lo que ha despertado mayor interés y compromiso para su realización; así también, la posibilidad de usar las excretas como mejorador de suelo en sus chacras.
- Esta opción tecnológica proporciona a la comunidad campesina mejoras en su calidad de vida y por las condiciones de apropiación y fácil uso, se garantiza su sostenibilidad.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI. (1994). Diseño de Obras Hidráulicas. W.H Editores.

Agüero, R. (1997). Agua Potable para Poblaciones Rurales.

Anten, M., Villet, H. (2000). Diseño de pequeños sistemas de riego por aspersión en ladera. SNV- PRONAMACHCS, Cajamarca.

British Geological Survey. (2001). Guidelines for Assessing the Risk to Groundwater From On Site Sanitation. Commissioned Report CR/01/142.

Cabrera, D., Gil, J. (1996). Sistemas Solares para el Calentamiento de Agua. PROPER y GTZ Bolivia.

CEPIS. (2000.) Fundamentos para la aplicación de ferrocemento.

CEPIS. (2003). Diseño del Sistema de Calentamiento Solar de Agua.

CEPIS (2003). Estimación de la Radiación Solar.

CEPIS. (2003). Teoría para el Diseño de Calentadores Solares de Agua.

CEPIS-USB/SDE/OPS. (s.f). Información Técnica en Agua y Saneamiento Rural.

CEPIS.(2003). Especificaciones técnicas para el diseño de zanjas y pozas de infiltración, Lima.

Cooperative Extension Services, Kansas State University. (s.f.). Water Quality. Septic Tank – Soil Absorption System. Manhattan.

COSUDE, CARE Perú. (2018). Hipoclorador por goteo con flotador- Manual de instalación, operación y mantenimiento.

COSUDE, CARE Perú. (2018). Hipoclorador de goteo de carga constante de doble recipiente - Manual de instalación, operación y mantenimiento.

COSUDE, CARE Perú. (2018). Memoria Descriptiva – Instalación del Hipoclorador por goteo con flotador.

COSUDE, CARE Perú. (2018). Memoria Descriptiva – Instalación del Hipoclorador de goteo de carga constante de doble recipiente.

COSUDE, CARE Perú. (2018). Dosificador de cloro con bomba eléctrica - Manual de instalación, operación y mantenimiento.

D.S. N° 031-2010-Salud. Art° 66. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

ETERNIT. (s.f). Tanque Séptico. Colombia S.A.

Franceys, R., Pickford, J. y Reed, R. (1994). Guía para el desarrollo del saneamiento in situ.

Lesikar, B., Enciso, J. (s.f.). Sistemas Individuales para el Tratamiento de Aguas Negras. Fosa Séptica y Campo de Absorción. Texas University.

Mara, D. (s.f.). The Design of Pour Flushes-Latrines. TAG Technical Note N° 15. D. United Nations Development. Interregional Project INT/81/047. World Bank.

Ministerio de Salud. (2010). Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano: D.S. N° 031-2010-SALUD. Dirección General de Salud Ambiental – Lima, Perú.

Office of Research and Development – U.S. Environmental Protection Agency. (2002). Onsite Wastewater Treatment – Systems Manual.

Ortiz B., Pedro.(2014). Introducción al alcantarillado sanitario, La Ceiba, Atlántida

Otis, R., Mara, D. (1985). Diseño de Alcantarillado de Pequeño Diámetro. Grupo Asesor en Tecnología (TAG). Nota técnica N° 14. Washington, D.C., World Bank.

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

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

Siegel, R., Howell, J. (1981). Thermal Radiation Transfer. McGraw-Hill, Nueva York.

Sotelo, G. (1996). Hidráulica General. Editorial Limusa.

Streeter, V. (1970). Mecánica de los Fluidos. Editorial Limusa.

Tanque Séptico – Eternit Colombia S.A. Coval.

Texas Agricultural Extension Service. (s.f). Septic Tank – Soil Absorption Systems. The Texas University Systems.

Wakeman, W. (1997). Appropriate Technologies for Water Supply and Sanitation.

SABA⁺

Modelo de Saneamiento Básico Integral