

TECNOLOGÍAS APROPIADAS PARA EL SUMINISTRO DE AGUA EN SITUACIONES DE EMERGENCIA



LIBERTAD Y ORDEN

REPÚBLICA DE COLOMBIA
DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ
DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE SALUD Y SEGURIDAD SOCIAL DEL CHOCÓ DASALUD

GOBIERNO DEL CAUCA
SECRETARÍA DE SALUD

Organización Panamericana de la Salud
Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud

EMBAJADA DE ESPAÑA EN COLOMBIA

caecid
OFICINA TÉCNICA DE COOPERACIÓN

www.paho.org/col

Aprendamos de la Vivienda Saludable

Décimas (coplas cantadas)

Por: Carmen Cuero, Augusto Vallecilla, Herminio Guerrero,
Filomena Naranjo, Ismenia Mina, Narcilo Micolta,
Elsy Perlaza, Julio Cuenu*



La vivienda saludable es un espacio
Para el apoyo vital
Que hace el goce a la familia
Del entorno cultural

Garantías de convivencia
Y el trato Psico afectivo
No debe estar distanciado
Hay que llevarlo consigo

Que las aguas residuales
No queden superficiales
Se les debe hacer drenajes
Que les sirvan de canales

Así evitamos problemas
Con roedores e insectos
Como ratón y otras plagas
Relativas y al respecto.

Con unas tazas con tapa
Para evitar los mosquiteros
Que trasportan muchos virus
Propios de los basureros

Los animales domésticos
Deben estar vacunados
Tener galpones o cocheras
En lugares adecuados.

Esta la privacidad
y debe dar garantía
de un ambiente acogedor
para proteger la vida

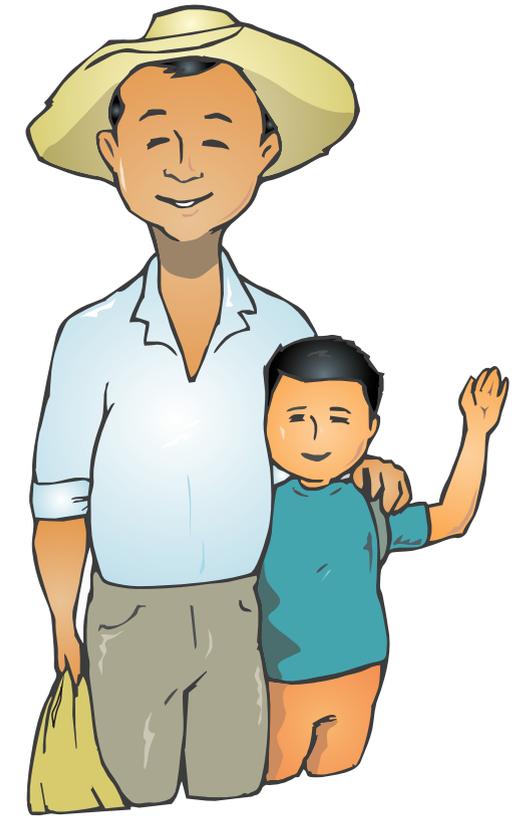
que siempre el agua potable
este hervida previamente
y se mantenga tapada
en algunos recipientes.

También los residuos sólidos
Deben ser seleccionados
En unas tinas o envases
Y permanecer tapados

No olviden los sanitarios
Deben estar de buen modo
De los niños al anciano
Osea al alcance de todos

Igualmente la cocina
Alcobas y comedores
Deben estar liberados
De bichos y roedores.

Dando el agradecimiento
Por esta oportunidad
Les brindamos un abrazo
Con toda fraternidad



ESTRATEGIA DE VIVIENDA SALUDABLE

** Participantes al Diplomado de Atención en Salud de la población en situación de desplazamiento y control social en el contexto del goce efectivo de derechos. Municipio de El Charco, Nariño.*



Departamento de Nariño

Antonio Navarro Wolf

Gobernador del Departamento

Ana Belén Arteaga Torres

Directora

Instituto Departamental de Salud de Nariño

Nohora Cecilia Espinoza

Sub Dirección Salud Pública

Instituto Departamental de Salud de Nariño

Martha Cecilia Paz Marcillo

Coordinadora de Salud Ambiental

Instituto Departamental de Salud de Nariño

Organización Panamericana de la Salud OPS/OMS

Ana Cristina Nogueira

Representante Organización Panamericana de la Salud
OPS/OMS Colombia

Teófilo Monteiro

Asesor Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental
OPS/OMS Colombia

Piedad Sánchez Martínez

Consultora Nacional en Salud Emergencias y Desastres
Coordinadora Oficinas de Terreno
OPS/OMS Colombia

Catalogación en la fuente – Organización Panamericana de la Salud OPS/OMS Colombia

Tecnologías apropiadas para el suministro de agua en situaciones de emergencia

Colombia: OPS, Publicación 2010. 68 p.

ISBN: 978-958-8472-15-7

I. Título

1. Sistemas de captación y filtrado de aguas lluvias
2. Filtros domésticos para agua potable
3. Perforación manual de pozos profundos de pequeño diámetro

El Programa de Salud en Desastres y Emergencias Complejas-PED-, de la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS), realizó ésta publicación en el marco del desarrollo de los proyectos en atención a la Población en Situación de Desplazamiento.

Las opiniones expresadas, recomendaciones formuladas y denominaciones empleadas en esta publicación no reflejan necesariamente los criterios ni la política de la Organización Panamericana de la Salud, ni de la Agencia Española de Cooperación para el Desarrollo (AECID).

Ésta publicación se puede reproducir o traducir total o parcialmente, siempre que no sea con fines de lucro, respetando los derechos de autor. Las solicitudes pueden dirigirse al Programa de Salud en Desastres y Emergencias Complejas, -PED-, de la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS), carrera 7 No. 74-21 piso 9º. Edificio Seguro Aurora, Bogotá, Colombia, e-mail@col.ops.oms.org

La realización de esta publicación ha sido posible gracias al apoyo financiero de la Agencia Española de Cooperación para el Desarrollo (AECID).

Autores del documento

Piedad Sánchez Martínez

Consultora Nacional de Salud en Emergencias y Desastres

Harold Mauricio Casas Cruz

Consultor Nacional de Salud en Emergencias y Desastres

Revisión técnica del documento

Teófilo Monteiro

Asesor Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental
OPS/OMS Colombia

Juan Guillermo Orozco

Asesor Salud del Entorno OPS/OMS México

Oscar Suntrua Y.

Gerente técnico - Fundación Suma Huasi “para la vivienda saludable”, Bolivia

Julián Mauricio Tellez

Área Salud del Ambiente - Instituto Departamental
de Salud de Nariño

Fernando Ascúntar Ríos

Unidad Ejecutora de Saneamiento del Valle del Cauca

Fotografía

**Archivo Programa de Salud en Desastres
y Emergencias Complejas -PED-**

Ilustraciones y diseño de portada

Jorge Iván Guerrero López

Diseño y diagramación

Nelly Carmenza Burbano Sánchez

Impresión

SITIO GRÁFICO

2010

OPS Colombia

Carrera 7a No. 74-21 piso 9

Edificio Seguros Aurora, Bogotá, Colombia

www.paho.org/col/

INTRODUCCIÓN

Capítulo I. Sistema de captación y filtrado de aguas lluvias

1.	Características del sistema	8
2.	Componentes y diseño del sistema	9
3.	Instrucciones para el montaje de la estructura base de los tanques y armado de los filtros	13
3.1.	Base de la estructura de soporte del sistema	13
3.2.	Captación de aguas lluvias	13
3.3.	Instalación del sistema	14
3.4.	Preparación de la arena para el filtro lento	15
4.	Ventajas y desventajas del sistema	15
5.	Operación del sistema	16
6.	Orientación para el mantenimiento del sistema	16
6.1.	Recomendaciones para la desinfección del agua almacenada	16
6.2.	Acciones de mantenimiento preventivo de forma obligatoria	17
6.3.	Limpieza del tanque de almacenamiento	18
7.	Componentes de filtración lenta en arena para sistemas comunitarios	18
7.1.	Principios de la filtración lenta en arena - FLA	18
7.2.	Mecanismos de desinfección	19
7.3.	Parámetros para el diseño de los componentes del sistema FLA	19
7.4.	Recomendaciones para los sistemas de FLA	20
7.5.	Partes del Filtro Lento de Arena - FLA	20
7.6.	Mecanismos de funcionamiento del FLA	21
7.7.	Recomendaciones para el funcionamiento adecuado del FLA	21
7.8.	Limpieza del filtro lento en arena - FLA	22

Capítulo II. Filtros domésticos para agua potable

8.	Filtro doméstico con arena y vela de carbón activado	24
8.1.	Componentes	24
8.2.	Mecanismo de operación	25
8.3.	Instrucciones para el armado del filtro	27



8.4.	Instrucciones de uso del filtro doméstico	28
8.5.	Instrucciones para el lavado del recipiente filtro	28
9.	Filtro artesanal de barro	29
9.1.	Mecanismos de funcionamiento	29
9.2.	Ventajas	29
9.3.	Instrucciones de uso	30
10.	Filtros de vela de cerámica porosa con carbón activado y plata coloidal	31
10.1.	Mecanismo de funcionamiento	32
11.	Desinfección del agua para el consumo humano	33
11.1.	Desinfección doméstica del agua mediante la cloración: Hipoclorito de Sodio y de Calcio	33
11.1.1.	Procedimiento para la desinfección con hipoclorito de sodio	34
11.1.2.	Procedimiento de preparación de la solución madre con hipoclorito de Calcio	35
11.2.	Recomendaciones	36
11.3.	Control de la cloración	36

Capítulo III. Perforación manual de pozos profundos de pequeño diámetro

12.1.	Generalidades sobre las aguas subterráneas	38
12.2.	Sistema AYNI para la perforación manual de pozos profundos de pequeño diámetro	39
12.3.	Etapas de la construcción de los pozos	40
12.4.	Construcción de los equipos de perforación	40
12.4.1.	Torre de perforación	40
12.4.1.1.	Pasos para la construcción de la torre de perforación	41
12.4.1.2.	Materiales y herramientas para la construcción de la torre de perforación	42
12.4.1.3.	Secuencia para la construcción de la torre de perforación de dos cuerpos	43
12.4.2.	Sistema de percusión y rotación	44
12.4.2.1.	Barra o tubos de perforación y manija de rotación	44
12.4.2.2.	Materiales para la construcción de las barras de perforación y manija de rotación	44

12.4.2.3.	Secuencia para la construcción de la barra o tubos de perforación y manija de rotación	45
12.4.3.	Broca de perforación	46
12.4.3.1.	Materiales para la construcción de las brocas de perforación	46
12.4.3.2.	Secuencia para la construcción de la broca de perforación	47
12.4.4.	Sistema de inyección – eyección – bomba de lodos	48
12.4.4.1.	Partes de la bomba de lodos	48
12.4.4.2.	Materiales para la construcción de la bomba de lodos	49
12.4.4.3.	Secuencia para la construcción de la bomba de lodos	50
12.5.	Técnicas de perforación	51
12.5.1.	Procedimiento para el montaje y anclaje de la torre de perforación	51
12.5.2.	Instalación del sistema de inyección de lodos	52
12.6.	Perforación del pozo	53
12.6.1.	Movimiento de percusión	54
12.6.2.	Movimiento de rotación	54
12.6.3.	Procedimiento de perforación	54
12.6.4.	Procedimientos post perforación	55
12.6.4.1.	Entubado del pozo	56
12.6.4.2.	Limpieza y sellado de las paredes del pozo	56
12.6.4.3.	Desarrollo del pozo	57
12.7.	Base del pozo y protección sanitaria superior	57
12.7.1	Bomba manual de agua	58
12.7.1.1.	Partes de la bomba manual de agua	58
12.7.1.2.	Materiales para la construcción del cabezal de la bomba	59
12.7.1.3.	Materiales para la construcción del conjunto inferior de la bomba	60
12.7.1.4.	Esquema de la bomba manual de agua	61
12.7.1.5.	Montaje de la bomba manual de agua	61
13.	Recomendaciones para la protección y mantenimiento de los equipos	62
13.1.	Anillos de protección alrededor del pozo	62
13.2.	Pasos para el mantenimiento del pozo	63
13.3.	Pasos para el mantenimiento de la bomba manual de agua	63
	Glosario	64
	Referencias bibliográficas	66



Introducción

El presente documento está dirigido a las instituciones gubernamentales del ámbito nacional y regional, a los organismos de socorro, ONGs, organismos de cooperación internacional y demás entidades encargadas de brindar y apoyar la respuesta sanitaria en la fase aguda de las emergencias y desastres. Se presentan propuestas tecnológicas adaptadas para el suministro de agua potable en la fase aguda de las emergencias, desarrolladas por la Organización Panamericana de la Salud OPS/OMS en coordinación con las autoridades nacionales y territoriales de salud. Las tecnologías implementadas incluyen sistemas para recolección de aguas lluvias, la filtración lenta y la perforación de pozos profundos de pequeño diámetro. Estas tecnologías no sustituyen los sistemas convencionales para el suministro de agua potable en condiciones normales, ni las competencias legales de las entidades territoriales responsables del tema.

En el marco de las experiencias vividas durante las emergencias derivadas por el desbordamiento de los ríos o por el desplazamiento masivo de poblaciones, originado por el conflicto armado en algunas regiones del país, se consideró importante presentar a las autoridades y organismos que brindan asistencia humanitaria de emergencia, una guía práctica que facilite la implementación de soluciones temporales de bajo costo, de fácil construcción y adaptables a las condiciones geográficas y climatológicas de las regiones, con el propósito de garantizar el acceso a agua potable, aportando de esta manera al mejoramiento de las condiciones sanitarias y a la disminución del impacto en el medio ambiente y en la salud de la población afectada por las emergencias o desastres.

La OPS/OMS realizó un proceso de capacitación y transferencia de tecnologías a las entidades territoriales de los departamentos de Nariño, Cauca y Chocó, con lo que las instituciones y comunidades participantes del proceso se han entrenado y apropiado de las tecnologías, cuentan con los equipos y avanzan en la perforación de pozos profundos tecnología AYNI en los municipios afectados por las emergencias; adicionalmente las comunidades beneficiadas velan de manera colectiva por el uso adecuado y mantenimiento de los pozos, en cuya construcción participaron activamente, lo que junto al uso de filtros caseros para el agua, ha contribuido a la disminución de los casos de enfermedad diarreica aguda y otras enfermedades de origen hídrico.

Capítulo I

Sistema de captación y filtrado de aguas lluvias



Foto: Instalación de un sistema de captación y filtrado de aguas lluvias en el municipio de El Charco, Nariño.

El sistema se basa en la recolección de las aguas lluvias de los techos de las viviendas para ser almacenada en tanques y luego tratada en un filtro de arena.



Sistema de recolección y filtrado de aguas lluvias albergue Vuelta del Mero – municipio de El Charco, Nariño.

I. Sistemas de captación y filtrado de aguas lluvias

1. Características del sistema

- Es un sistema de abastecimiento de agua útil en zonas lluviosas como la costa pacífica colombiana, que en épocas de sequía puede utilizar agua de fuentes superficiales o alternarse con otro sistema de abastecimiento.
- Apropiado para zonas que carecen de fuentes de agua permanente o de buena calidad, siempre que el techo esté en buen estado.
- Apropiado para uso familiar, escolar y comunitario.
- De construcción sencilla; los materiales son de fácil consecución.
- Utiliza maderables de la región como soporte de los tanques.
- Permite el almacenamiento de agua con protección.
- Su construcción y mantenimiento promueven la participación comunitaria.





2. Componentes y diseño del sistema

(1) Captación: Utiliza la superficie del techo de una vivienda o casa comunal donde se recolecta el agua de lluvia; el techo debe ser de preferencia: teja cerámica, calamina o zinc.

(2) Recolección y conducción: Se realiza mediante una canaleta - canal, que reúne el agua del techo y la conduce mediante tubos a un tanque. La canaleta debe estar bien asegurada al techo para evitar fugas de agua¹.

(3) Bajante: Es la tubería de PVC que conduce el agua de las canaletas al tanque de almacenamiento y al tanque interceptor.

(4) Tanque interceptor: Es un tanque de 120 litros instalado en la parte inferior del bajante, en donde se recolecta el agua cruda que puede ser utilizada para el aseo de baños, pisos y otros usos diferentes al consumo humano. En caso de no contar con este tanque, puede dejarse un tapón al final del bajante que en todo caso permita correr las primeras

aguas lluvias con el propósito de lavar las impurezas del sistema de captación.

(5) Conexión al tanque: Es un tubo de PVC, que se conecta mediante una T que actúa como desvío del agua hacia el punto de salida (purga). Puede adicionarse una válvula de cierre rápido que optimice el desvío del agua.

(6) Rebose: Es el codo o tubo de PVC instalado en la parte superior del tanque de recolección, por donde sale el agua sobrante una vez que el tanque se ha llenado; el diámetro de rebalse debe ser el mismo que el diámetro de entrada.

(7) Tanque de recolección:

La recolección de aguas lluvias se realiza en tanques que deben ser:

- Impermeables, para evitar pérdidas por goteo o transpiración.
- Herméticos: para evitar contaminación, el ingreso de luz solar y la proliferación de insectos.

- Accesible y con abertura amplia para realizar la limpieza y reparaciones.

(8) Tanque filtro de arena: recipiente con arena fina para filtración lenta - FLA y con una vela de carbón activado que mejora las condiciones organo-lépticas del agua. (el mecanismo se describe más adelante). Cuando se utilicen filtros con velas de cerámica porosa, carbón activado y plata coloidal, no es necesario incluir arena en el proceso de filtración.

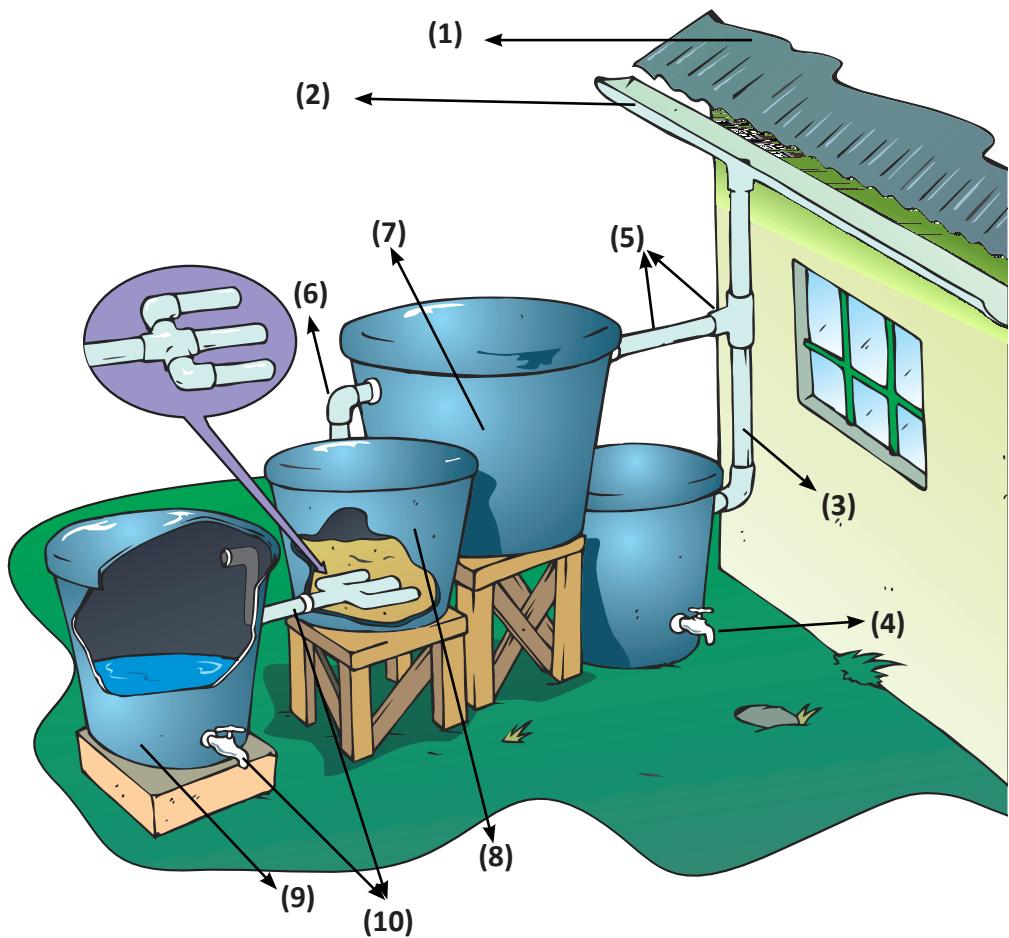
(9) Tanque almacenamiento de agua tratada: Almacena agua apta para consumo humano. Se recomienda adicionar un proceso de cloración al agua para consumo.

(10) Otros accesorios: son los grifos y tuberías de conducción del agua de un tanque a otro.

(Ver figura 1. página 10)

¹ En la costa pacífica de Nariño los indígenas Eperara Siapidara del municipio de El Charco, utilizaron la guadua para construir canaletas.

Figura 1. Partes de un sistema de recolección de aguas lluvias



Diseños preparados por el área de Entornos Saludables de OPS/OMS Colombia

Diseños de los componentes del sistema de filtración lenta en arena:

Fig 2. Vista frontal

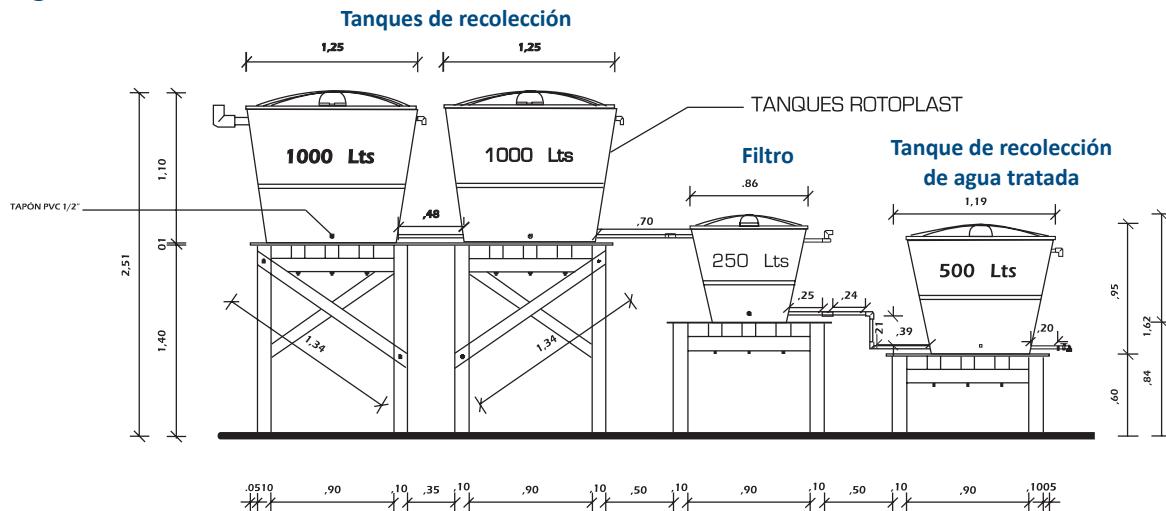
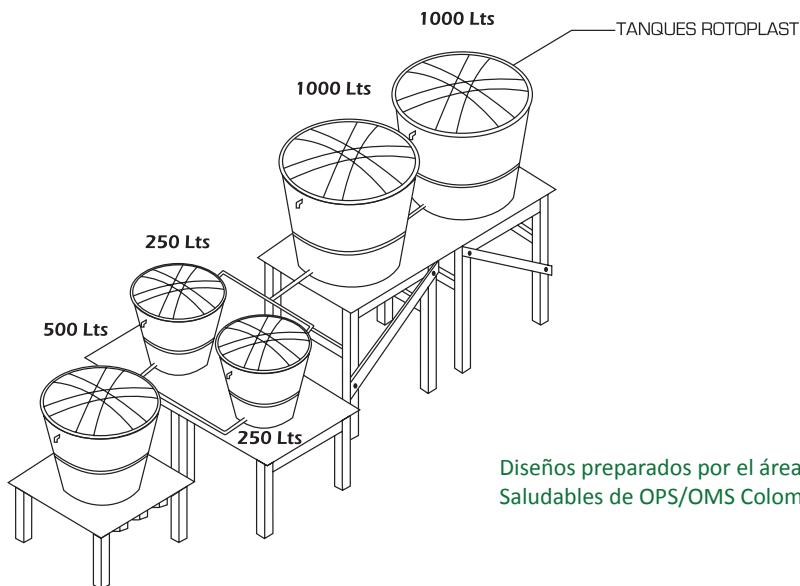


Fig 3. Vista en perspectiva



Diseños preparados por el área de Entornos Saludables de OPS/OMS Colombia

Fig 4. Vista de planta diseño de sistemas de captación y filtración

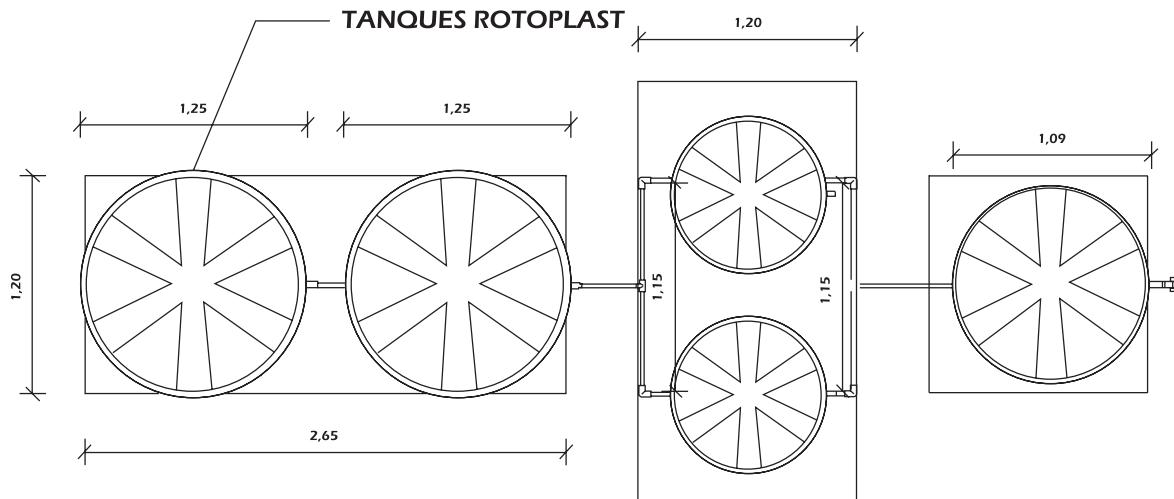


Fig 5. Accesorios del sistema

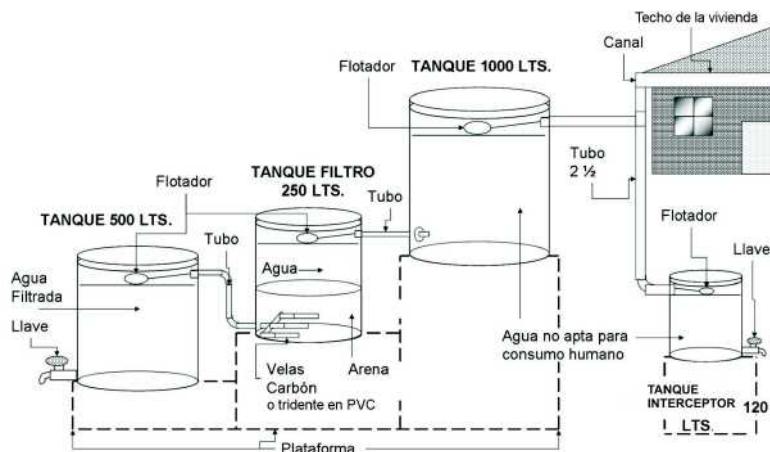
	CODO PVC 90 1/2" CANTIDAD = 14
	TEE PVC 1/2" CANTIDAD = 3
	CODO PVC 90 2" CANTIDAD = 1
	ADAPTADOR MACHO ROSCADO O 1/2" CANTIDAD = 5
	TAPÓN ROSCADO O 1/2" CANTIDAD = 5
	TUBO PVC O 1/2" CANTIDAD = 7 Mts LINEALES
	TUBO PVC O 2" CANTIDAD = 1 Mt
	VÁLVULA FLOTADOR CANTIDAD = 4



Diseños preparados por el área de Entornos
Saludables de OPS/OMS Colombia

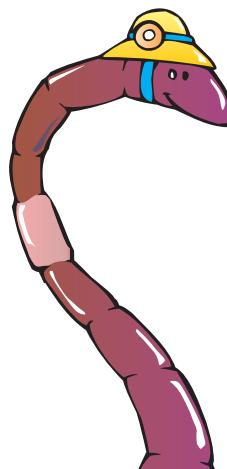
3. Instrucciones para el montaje de la estructura base de los tanques y armado de los filtros

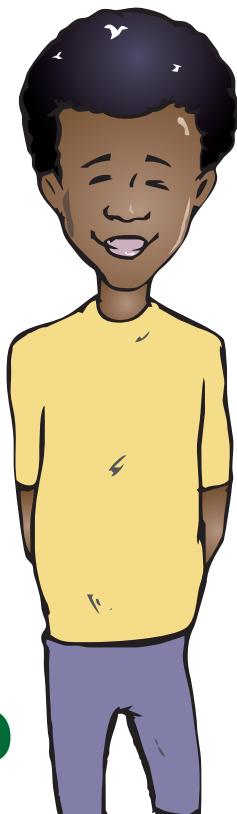
3.1 Base de la estructura de soporte del sistema: La estructura de soporte del sistema de recolección de aguas lluvias y de los filtros puede construirse sobre seis columnas de concreto reforzadas con hierro; dependiendo de la estabilidad del terreno se deben acondicionar pilotes para el sostenimiento de la estructura; para este propósito puede utilizarse material de la región como madera fina resistente al agua, las medidas estarán basadas en la altura de las canaletas de recolección y deben oscilar entre 80 cm a 1,20 m de altura a partir de la superficie del terreno.



Vista frontal de la estructura del sistema de captación de aguas lluvias y filtración lenta en arena. Diseño preparado por DITECO Ltda.

3.2 Captación de aguas lluvias: La captación de aguas lluvias puede realizarse mediante el uso de la superficie del techo de una vivienda comunitaria, un albergue o caseta construida para este fin. La recolección se realiza por medio de una canaleta de PVC bien asegurada a la parte inferior del techo, la dimensión estará de acuerdo al largo de la superficie de captación, con una pendiente de 2 al 4% que permita la recolección adecuada del agua.





A la canaleta se le acondiciona un tubo de PVC de 2.5" que servirá de bajante por el cual pasa el agua sin tratar a un tanque interceptor de 120 litros, que contiene un flotador que controla el nivel de agua. Al llenarse el tanque interceptor, el agua se devuelve a los tanques de almacenamiento de 1000 litros, desde donde pasa a los tanques filtros de 250 litros que contienen arena y un tridente conectado a tres velas de carbón activado. Finalmente el agua pasa de los filtros al tanque de 500 litros para el almacenamiento de agua tratada.

3.3 Instalación del sistema

- **Tubo bajante:** Cuando no se disponen de los recursos necesarios, al tubo bajante se le puede conectar (en reemplazo del tanque interceptor) un tapón en el extremo inferior, que servirá de purga y permitirá el lavado de las estructuras de captación. Se debe adaptar una T al bajante, de manera que permita el flujo del agua hacia los tanques de almacenamiento de 1000 litros, cuando el tapón ubicado en el extremo inferior esté cerrado o el flotador del tanque interceptor no permita más flujo de agua al tanque de almacenamiento de agua cruda.
- **Los tanques de almacenamiento de agua cruda:** Se ubican en la plataforma, iniciando con el tanque de 1000 litros de agua sin tratar, que se conecta por medio de tubería y accesorios (codos de ½") a los dos tanques filtros de 250 litros. (ver especificaciones y cantidad de accesorios según esquemas de las páginas 10, 11 y 12).
- **Los tanques filtros:** Contienen 200 kilos de arena fina que ocupan las 2/3 partes del volumen de cada uno de los tanques. Se instalan las velas de carbón activado y plata coloidal que mejoran las características organolépticas del agua; se debe retirar el plástico de las velas e instalarlas en la estructura tridente en PVC, ubicada en el fondo de los tanques filtro, luego se deposita con cuidado la arena que ha sido lavada y desinfectada previamente. Cuando se utilicen velas de cerámica porosa, carbón activado y plata coloidal no se requiere adicionar arena.
- **Tanques de almacenamiento de agua tratada:** Se realizan las conexiones externas que comunican los dos tanques filtros mediante tubería PVC de ½" a los dos tanques receptores de agua tratada de 500 litros. Finalmente se instalan los grifos de ½" por donde se obtendrá el agua potable para consumo humano.

3.4 Preparación de la arena para el filtro lento

- Coloque la arena en pequeñas porciones en un recipiente para facilitar y asegurar un adecuado lavado, evitando la pérdida del material.
- Agregue agua limpia al recipiente, agite la arena con un trozo de madera o frótela con las manos como “lavando arroz”.
- Déjela reposar y elimine el agua turbia sobrante.
- Repetir la operación hasta que el agua del lavado de la arena salga sin impurezas o color.
- Vierta la arena lavada al tanque que se ha destinado e instalado para el filtro.
- Continúe de esta forma hasta completar el lavado del total de la cantidad de arena según vaya a ser utilizada (200 kilos para filtros de 250 litros y 2 kilos para filtros domésticos)



4. Ventajas y desventajas del Sistema

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Mejora la calidad física y química del agua a utilizar.• Sistema independiente, ideal para comunidades dispersas y alejadas.• No requiere energía eléctrica para la operación del sistema.• Existe la posibilidad de usar recursos locales; por ejemplo en comunidades indígenas de El Charco, Nariño, se utiliza la guadua como canaleta.• Fácil de operar y mantener, requiere poco tiempo para la recolección del agua de lluvia.• Pueden ser utilizadas otras fuentes de agua en sitios donde las lluvias son poco frecuentes.	<ul style="list-style-type: none">• Puede representar un relativo alto costo de inversión por el valor de los tanques y accesorios.• Funcional en zonas con lluvias permanentes.• La cantidad de agua almacenada, depende de la capacidad del tanque.• La calidad del agua debe ser monitoreada con pruebas de laboratorio físico-químicas y microbiológicas.• Requiere mantenimiento, limpieza permanente de los filtros de arena y desinfección suplementaria.



5. Operación del Sistema:

Llenado del tanque

- a) Dejar llenar inicialmente el tanque interceptor o en caso de no contar con este, dejar abierto el extremo inferior del bajante para que el agua de las primeras lluvias limpie el techo, canaleta y tubos.
- b) Cierre el grifo del tanque interceptor o tape la salida del bajante con el tapón de PVC y si no se cuenta con este material puede utilizar plástico o madera como tapón.
- c) Cuando el tanque interceptor se llene, rebosará el agua por el codo y pasará al tanque de almacenamiento.
- d) Una vez lleno el tanque de almacenamiento de agua cruda, esta pasa al tanque filtro y de ahí al tanque de almacenamiento de agua filtrada.
- e) Extracción de agua, mediante grifos:
 - Puede extraer agua para consumo humano del tanque de almacenamiento de agua tratada.
 - Puede extraer agua cruda del tanque interceptor para otros usos domésticos, diferentes al consumo humano.



6. Orientación para el mantenimiento del sistema

6.1 Recomendaciones para la desinfección del agua almacenada

Cuando utilice el agua de fuentes superficiales para alimentar el sistema de captación y filtración, se recomienda antes de consumirla, realizarle un proceso de desinfección con cloro: utilizar desinfectante límpido comercial sin aroma (concentración de 5.25%) en proporción de 5 gotas de límpido por cada galón (de 5 litros) de agua para consumo humano, mezclar y dejar reposar por 30 minutos antes de utilizarse.

Mantenimiento periódico de las canaletas que garantiza la recolección de agua limpia.

6.2 Acciones de mantenimiento preventivo de forma obligatoria

Actividad	Frecuencia	Herramientas y Materiales	Responsable
Antes de la época de lluvias se deberá limpiar el techo, canaletas, salida del bajante y tanque de almacenamiento.	Al finalizar la época seca e inicio de temporada de lluvias.	Escoba, escalera, rastrillo, balde, pala.	Operador, Usuario
Limpiar el área adyacente al tanque de almacenamiento, quitando malezas (plantas, hierbas) y materiales inservibles que puedan convertirse en criaderos de vectores.	Mensual (cada mes)	Pico, pala, machete, azadón, rastrillo.	Comunidad
Verificar si hay fugas en el tanque, accesorios y bomba, reparar en caso de ser necesario.	Semestral (cada 6 meses)	Registro.	Operador, Usuario
Verificar la existencia de insectos y pequeños animales que aniden en el sistema y eliminarlos.	Semanal	Cuaderno, lápiz.	Operador, Usuario
Limpiar el interior del tanque como se indica en la sección de filtración lenta en arena.	Semestral (cada 6 meses)	Balde, cepillo, escoba, trapo, rodillo.	Operador, Usuario

Se recomienda realizar reparaciones o reemplazar las canaletas, grifos, accesorios cuando presenten fugas. De igual manera verificar el estado de los techos y cubiertas que son utilizados para la recolección de aguas lluvias.





Los pasos para la limpieza:

6.3 Limpieza del tanque de almacenamiento

Es necesario realizar la limpieza de las paredes internas del tanque para evitar el crecimiento de material vegetal, algas, hongos y la proliferación de contaminación bacteriana del agua en reposo.

- Abrir el grifo del tanque interceptor o quitar el tapón del bajante.
- Destapar los tanques.
- Ingresar al tanque (si es posible) cuidando no dañar su fondo.
- Limpiar con un cepillo la superficie interior del tanque, sacar el lodo generado por la limpieza y enjuagar con agua y solución de cloro, utilizando baldes.
- Evacuar el agua producto de la limpieza del tanque.
- Se coloca la tapa verificando que esté bien cerrada.
- La persona que realice la limpieza deberá ser un adulto, con adecuada higiene personal, sin heridas en la piel, utilizar elementos de protección personal y evitar siempre la contaminación del tanque.

7. Componentes de filtración lenta en arena para sistemas comunitarios

7.1 Principios de la Filtración Lenta en Arena - FLA

La FLA es una tecnología limpia de desinfección del agua, que se basa en la circulación del líquido a baja velocidad a través de un manto poroso de arena, donde sufre un conjunto de procesos físicos y biológicos que retienen las impurezas al entrar en contacto con las partículas del medio filtrante, las más pesadas lo harán por sedimentación, las más ligeras por aglutinación. En el sistema de FLA se desarrollan además procesos de degradación química y biológica que reducen la materia retenida y destruyen los microorganismos patógenos presentes en el agua.

El sistema consta básicamente de un tanque que contiene un lecho filtrante de arena con un sobrenadante de agua, drenajes y accesorios de regulación y control.



7.2 Mecanismos de desinfección

Transporte: Mecanismo por el cual se produce la remoción hidráulica por colisión de partículas y granos de arena mediante el cernido, intercepción, sedimentación, difusión y flujo intersticial.

Adherencia: Mecanismo por el cual las partículas que han colisionado con la arena son removidas gracias a su capacidad adherente generada por fuerzas eléctricas y reacciones químicas.

Mecanismo biológico de desinfección: este proceso se logra cuando la capa biológica o sobrenadante ha madurado (2-3 semanas de llenado del filtro), y se basa en el papel de las bacterias benéficas transportadas por el agua, que utilizan la materia orgánica como fuente de alimentación, lo que les permite multiplicarse para consolidar la capa biológica. Las bacterias oxidan la materia orgánica para obtener la energía necesaria para su metabolismo.

Los filtros para los sistemas de captación de agua lluvia que la OPS/OMS ha distribuido, incorporan una vela de carbón activado que coadyuva en la remoción de residuos producto de la degradación de la capa biológica.

En la actualidad los filtros que excluyen la arena, incorporan un sistema de filtración compuesto por una vela de cerámica porosa, carbón activado y plata coloidal que tiene efecto microbicida al bloquear la enzima que los microorganismos aerobios necesitan para procesar el oxígeno requerido para su supervivencia.

7.3 Parámetros para el diseño de los componentes del sistema de FLA

Los parámetros de diseño más importantes en un sistema de FLA son:

- La velocidad de filtración, que debe estar en un rango de 0.1 – 0.3 m³/m² hora,
- Las características del medio filtrante: tamaño efectivo (d₁₀) 0.15 – 0.4 mm.



Filtros de arena (azul) y tanque de almacenamiento (negro) de agua tratada instalados en el municipio de El Charco, Nariño.



- Coeficiente de uniformidad (CU): que va de: 1.5-4 mm,
- Altura del medio filtrante: 0.5 – 0.7 m. Otros criterios de diseño se aplican para sistemas FLA de mayor tamaño.



7.4 Recomendaciones para los sistemas de FLA

- El sistema FLA debe ser ubicado en zona accesible, sobre un terreno estable, en caso contrario se deben realizar obras de pilotaje en el terreno, con maderables resistentes para dar estabilidad al sistema²
 - El sitio de ubicación debe garantizar que el sistema opere por gravedad.
 - Realizar trabajos comunitarios previos al montaje del sistema para garantizar el uso adecuado y mantenimiento de las estructuras.
 - Aprovechados para zonas donde no existen acueductos con agua tratada.
 - Aprovechados para comunidades muy dispersas, ubicadas en zonas de alta pluviosidad o con fuentes superficiales.
- Ventajas:**
- De fácil construcción e implementación.
 - De bajo costo y de fácil mantenimiento

7.5 Partes del Filtro Lento de Arena - FLA



Tanque con arena fina



Accesorios externos

El sistema está formado por uno o dos tanques plásticos de 250 cc, que contienen arena fina en su interior, que ocupa las 2/3 del volumen del recipiente. En el fondo de los tanques filtros se adapta una vela de carbón activado que complementa el sistema de filtrado.

² Situación que es frecuente en la costa pacífica colombiana.



7.6 Mecanismo de funcionamiento del FLA

1. El agua debe pasar a través de la arena, donde serán retenidas partículas, impurezas y microorganismos que se encuentran en el agua y de este modo volverla apta para consumo humano.
 2. En la superficie de la arena se forma una capa biológica que elimina los microorganismos presentes en el agua, al pasar por el filtro.
 3. En el interior del tanque y conectados al grifo de salida del filtro están instaladas las velas de carbón activado que retiran las últimas impurezas del agua, mejorando su calidad.
- Actualmente se está adicionando a las velas de carbón activado, un componente de plata coloidal que refuerza la eliminación de las impurezas.



7.7 Recomendaciones para el funcionamiento adecuado del FLA

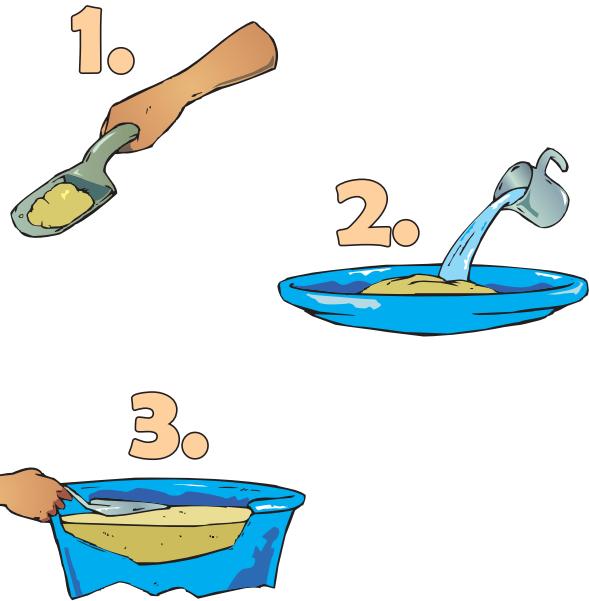
- Mantener siempre un volumen de agua de hasta 5 cm de altura por encima de la superficie de arena. Si el filtro se seca la capa biológica donde se realiza el control biológico se muere.
- El caudal de filtración depende de la calidad del agua a filtrar: en aguas muy turbias el filtro se tapa rápidamente, por lo que se recomienda dejar en reposo (asentar) el agua antes de filtrar.
- Los filtros pueden funcionar adecuadamente de 2 a 4 semanas antes de requerir una limpieza.
- Para asegurar el funcionamiento del filtro, se debe garantizar un volumen de 1.000 cc de agua cruda por cada 500 cc de volumen de agua filtrada.



7.8 Limpieza del filtro lento en arena - FLA



Proceso de lavado de la arena del filtro.



La limpieza del filtro de arena se debe realizar cuando el paso del agua filtrada es lento o no pasa al tanque de almacenamiento de agua filtrada. Esta operación se realiza de la siguiente manera:

- Vaciar el agua del filtro.
- Con una espátula o cuchara retire un volumen de arena de una altura de 5 a 10 cm. y pase la arena sucia a un recipiente para su lavado.
- Una vez lavada la totalidad de la arena mediante su fricción, se debe volver a poner en el filtro de manera uniforme.
- Ponga nuevamente en funcionamiento el filtro.
- No use detergentes ni desinfectantes para el lavado de la arena. Lave el filtro solo con agua.

Capítulo II

Filtros domésticos para agua potable



Foto: Instalación de filtros domiciliarios, municipio de Tumaco, Nariño.



Filtro doméstico para agua potable.

II. Filtros domésticos para agua potable

Los filtros domésticos para agua que la OPS/OMS ha implementado en Colombia incluyen diferentes tecnologías; en un principio se utilizaron filtros con arena y vela con carbón activado, posteriormente filtros de cerámica y recientemente filtros con vela de cerámica porosa, carbón activado y plata coloidal que no requieren arena. Los sistemas de filtración se fundamentan en tres principios:

- **Filtración lenta:** se hace utilizando arena fina, superficies o vela de cerámica. La filtración lenta elimina bacterias, parásitos, virus, hongos y otros microorganismos que afectan la salud de los seres humanos.
- **Carbón activado:** retiene las partículas orgánicas y algunas inorgánicas que producen sabores y olores que le dan características desagradables al agua.
- **Plata coloidal:** tiene efecto microbicida al inhibir la enzima que utilizan los microorganismos para usar el oxígeno.

La OPS/OMS ha implementado en Colombia sistemas de filtración domésticos que conjugan los principios básicos descritos.

8. Filtro doméstico con arena y vela de carbón activado

Este filtro consiste en un sistema compuesto por tres recipientes: una ponchera de base perforada, un tanque con arena especial para filtros que tiene instalado en su base una vela con carbón activado en su interior, a través de la cual pasa el agua que va a un segundo tanque en el que se almacena el agua filtrada.

8.1 Componentes

Ponchera regadera: vasija plástica con orificios en su base para que pase el agua cruda al filtro y se logre una distribución homogénea del agua sobre la arena, para evitar una caída que impacte y desarregle las primeras capas. La ponchera debe permanecer todo el tiempo sobre el recipiente - filtro, para evitar que los rayos solares promuevan la formación de algas en las paredes del tanque.



Capacitación y entrega de filtros barrio Cristo Rey, municipio de Tumaco, Nariño.

Recipiente con filtro de arena y vela con carbón activado: consiste en un tanque plástico al que se le instala en su base una vela con carbón activado y arena fina hasta la mitad del recipiente. El agua pasa a través del lecho filtrante, sigue hacia la vela de carbón activado y va a un segundo recipiente de almacenamiento.

Conexión: es un tubo de PVC que conecta el tanque filtro con el recipiente para el almacenamiento del agua filtrada; este tubo permite además regular la altura de salida del agua del filtro con el fin de mantener siempre un volumen de agua que evita que la arena se seque. Para ello se coloca una marca con la altura máxima; esta altura puede ir variando hacia abajo en la medida que el filtro se ensucia y requiere más carga para pasar por la arena.

Tanque para el almacenamiento del agua filtrada: es un recipiente plástico de 20 litros con tapa y un grifo de salida de agua filtrada.

8.2 Mecanismo de operación

El funcionamiento de los filtros domiciliarios tiene el mismo principio de los FLA utilizados para sistemas comunitarios. El filtro actúa por gravedad, filtrando el agua al pasar desde la ponchera al tanque que contiene la arena donde se retienen las partículas en suspensión, mediante tres mecanismos: *adherencia, cribado y digestión biológica de las partículas.*

La adherencia y el cribado contribuyen a la remoción de turbiedad del agua.

La digestión biológica permite la remoción de los microorganismos patógenos presentes en el agua, esta se realiza a través de la capa microbiológica que se forma en la superficie de la arena, capa en la que los mismos microorganismos se alimentan de la materia orgánica, incluidas las bacterias y virus patógenos presentes. Para asegurar la efectividad de la capa microbiológica es necesario mantener siempre en el filtro un nivel de agua suficiente para cubrir la superficie de arena, de tal manera que se conserve la humedad necesaria que permita la supervivencia de los microorganismos beneficiosos.





El filtro de arena alcanza su maduración biológica (máxima eficiencia de remoción de los microorganismos patógenos) luego de estar funcionando dos a tres semanas.

El cartucho de carbón activado reduce el olor, sabor y color que puede tener el agua cruda, características organolépticas ocasionadas especialmente por sustancias orgánicas disueltas en el agua, pudiendo incluso remover algunos compuestos químicos que pueden estar presentes en las aguas de los ríos, tales como los organoclorados.



Aspectos del taller de capacitación en armado, uso y mantenimiento de filtros domésticos, municipio de Tumaco, Nariño.

El mecanismo de acción del cartucho se realiza primero mediante la retención por acción de cribado de las partículas a su paso por poros de 5 micras y segundo por la disposición de las cargas eléctricas del carbón activado, que le permiten una acción de adherencia de partículas de origen orgánico. El cartucho de carbón activado tiene una vida útil de 6 meses a un año, tiempo que depende de la calidad del agua cruda con que se alimente el filtro; luego de este periodo el cartucho debe ser reemplazado por otro nuevo.

En la actualidad los filtros domésticos y comunitarios incluyen un componente de plata coloidal en los cartuchos de carbón activado. La plata coloidal tiene efecto microbicida al bloquear la enzima que los microorganismos aerobios necesitan para procesar el oxígeno que requieren para su supervivencia.





8.3 Instrucciones para el armado del filtro

- a. Empiece por lavar y desinfectar la arena, según instrucciones dadas en la página 20.
- b. Instale la vela de carbón activado y plata coloidal en el fondo del recipiente filtro, adaptando los empaques y accesorios al grifo de salida.
- c. Instale la conexión de tubos de PVC externos con sus respectivos accesorios empezando desde el recipiente filtro, conservando la forma que permita mantener un sello de agua que asegure el mantenimiento de la capa biológica; el extremo inferior de la conexión se introduce por el orificio ubicado en la parte superior del recipiente de almacenamiento de agua filtrada.
- d. Vierta los 2 kilos de arena fina en el recipiente filtro, cuidando de no desperdiciarla, no averiar la vela de carbón activado y esparcir-la de manera uniforme en el fondo del recipiente filtro.
- e. Coloque el recipiente plástico perforado, en la parte superior del recipiente filtro y empiece a cargarlo con agua cruda.
- f. Según el tipo de filtro que utilice, se incorpora o no la arena fina.



Aspectos del taller de capacitación en armado, uso y mantenimiento de filtros domésticos, municipio de Tumaco, Nariño.

Cuando usted note que la velocidad de filtración ha disminuido hasta llegar incluso a no permitir el paso del agua, es necesario lavarlo; el tiempo estimado para el lavado es de cada tres meses, dependiendo de la calidad del agua cruda con que se alimenta el filtro.





8.4 Instrucciones de uso del filtro doméstico

1. Ubicar el filtro sobre una superficie firme horizontal y protegida del sol.
2. Verter cuidadosamente el agua cruda al recipiente plástico perforado.
3. Debe asegurarse siempre un volumen de agua sobre la arena. La capa de microorganismos que se forma en la parte superior de la arena no debe ser removida hasta que sea necesario lavar el filtro de arena.
4. Dejar filtrar el agua hasta que se acumule en el recipiente inferior.
5. Una vez filtrada el agua, puede ser utilizada con seguridad para el consumo humano o la preparación de alimentos. Se debe evitar pasar el agua a otro recipiente porque puede perder su calidad o contaminarse.



8.5 Instrucciones para el lavado del recipiente filtro

1. Con una cuchara saque cuidadosamente la arena y deposítela en un recipiente plástico para su lavado.
2. Una vez pasada la arena del tanque al recipiente, se lava con agua limpia, restregándola con las manos para eliminar la suciedad retenida. Repita el proceso cuantas veces sea necesario hasta que la arena se vea limpia y el agua del lavado esté clara.
3. Con un cepillo suave o un trozo de tela se limpia la superficie del cartucho de carbón.
4. Con una esponja o un trozo de tela y un poco de jabón de barra se lavan las paredes del tanque filtro.
5. Después de la limpieza de todas las partes, colocar la arena limpia dentro del tanque filtro y conectar nuevamente el tubo de conexión e iniciar la operación del filtro, de acuerdo a las instrucciones.
6. La primera agua que se filtre, debe ser desechada por si quedó algún residuo del lavado.



9. Filtro artesanal de barro

Otra opción de filtros domiciliarios son los filtros de barro y plata coloidal que proporcionan una confiabilidad del 100%, documentada en varios estudios. El sistema consta de las siguientes partes:

- 1 tapa plástica.
- 1 recipiente filtro de barro.
- 1 recipiente plástico de almacenamiento de agua tratada con grifo de salida.

9.1 Mecanismo de funcionamiento

Los filtros de barro son una unidad casera de tratamiento y almacenamiento seguro de agua, con capacidad de filtrar entre 1.5 a 2.5 litros de agua por hora y de almacenar hasta 35 litros.

El recipiente de barro contiene poros de 0,6 -30 micrones que con la adición del componente de plata coloidal evitan el paso de los microorganismos patógenos presentes en el agua. El mecanismo de acción de la plata coloidal se relaciona con la inactivación de la enzima que les permite a los microorganismos utilizar el oxígeno para su supervivencia. La arcilla y la plata coloidal con la que se fabrican los filtros son inocuas para el organismo humano.

9.2 Ventajas

- Sistema de fácil manejo.
- Larga vida útil.
- Proporciona agua potable con baja tecnología y costos.
- Buena aceptación en las comunidades.
- Los filtros han sido estudiados, probados y garantizados por varias instituciones y se han implementado en situaciones de emergencias en Nariño con buenos resultados. (Estudios: Aguas de Manizales, OXFAM Córdoba, UNICEF – OXFAM – Pastoral Social Choco, Cruz Roja Colombiana Sucre, Laboratorio de Salud Pública del Instituto Departamental de Salud de Nariño).



Filtro artesanal de barro.



Detalle de la pared filtrante de los filtros de barro, con incorporación en las superficies interna y externa de plata coloidal.



9.3 Instrucciones de uso

1. Lavar la tapa y el recipiente de almacenamiento con agua clorada y jabón.
2. Lavar el recipiente filtro de barro con un cepillo suave y enjuagar con agua desinfectada, nunca directamente con cloro o jabón.
3. Colocar el recipiente filtro de barro sobre el recipiente de almacenamiento.
4. Llenar el recipiente filtro de barro con agua, cuidando de pasar primero el agua por un paño limpio de uso exclusivo para esta labor, luego retire el paño.
5. Tapar el recipiente filtro de barro con la tapa plástica, verificar que siempre este lleno y tapado.
6. Haga uso del agua filtrada para consumo directo, preparar jugos, refrescos y el lavado de frutas y verduras que vaya a consumir directamente.

Para un uso adecuado de este filtro recuerde siempre:

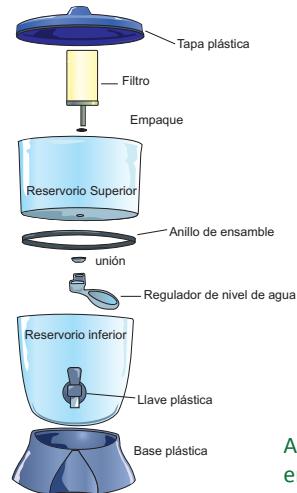


Pasos para el armado y uso del filtro.

10. Filtros de vela de cerámica porosa con carbón activado y plata coloidal



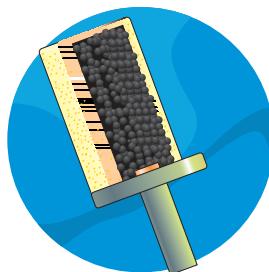
Filtro de vela de cerámica porosa



Aspectos de la vela de cerámica y su ubicación en el nivel superior del filtro.

Este filtro domiciliario está formado por las siguientes partes: una tapa plástica, un elemento filtrante con sus accesorios (una vela de cerámica porosa, carbón activado y plata coloidal) un recipiente plástico superior, un empaque o arandela, una tuerca plástica, una válvula reguladora del nivel de agua, un recipiente inferior y una base plástica.

El sistema de filtración tiene como principio una vela de cerámica con membrana porosa, recubrimiento interno de plata coloidal y carbón activado, como se aprecia en el siguiente esquema:



Aspectos de la vela de cerámica: membrana porosa, recubrimiento de plata coloidal en su interior y carbón activado.



10.1 Mecanismo de funcionamiento

1. El agua cruda se introduce por el orificio del recipiente superior del filtro, pasa a través de la membrana filtrante microporosa de la vela de cerámica que retiene partículas sólidas e impurezas hasta de 0.5 micrones. En este paso se elimina hasta el 85% de las bacterias presentes en el agua.

2. El agua que pasa por la vela de cerámica entra en contacto con el carbón activado que ocupa el interior de la vela y la plata coloidal que recubre la superficie interna de la membrana filtrante. La Pla-

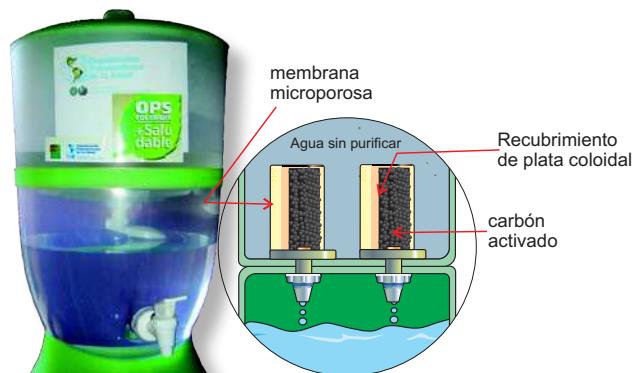
ta coloidal tiene acción altamente eficiente en la eliminación de bacterias, hongos, virus y otros microorganismos que producen enfermedades a los seres humanos, lo que convierte el agua en segura para su consumo directo.

Después de filtrada el agua es recolectada en el nivel inferior y puede consumirse de forma segura.

Recomendaciones: antes de usar el filtro, sus componentes deben ser lavados con una esponja o cepillo no abrasivo, no usar deter-

gentes, jabones, ni otros productos químicos. Cuando inicie el uso del filtro o cambie la vela de cerámica, deseche los primeros 12 litros de agua filtrada, pueden tener algún sabor desagradable.

Dependiendo de la calidad del agua, la vela de cerámica debe cambiarse cada 6 meses o cada 1300 litros de agua filtrada (o lo que suceda primero), o cuando sea evidente la disminución de la velocidad de filtración de agua.



Esquema del filtro con los componentes internos de la vela de cerámica, carbón activado y plata coloidal.

11. Desinfección del agua para el consumo humano

El agua para consumo humano debe estar libre de sustancias químicas, impurezas y de microorganismos patógenos que puedan causar problemas a la salud de las personas. En situaciones de emergencias es necesario extremar las medidas sanitarias para garantizar en todo momento la provisión de agua potable para el consumo humano mediante métodos sencillos de desinfección que contribuirán a disminuir el impacto del desastre en las poblaciones afectadas.

Las medidas sanitarias requieren la coordinación institucional y comunitaria para la vigilancia y control de las fuentes contaminantes, el muestreo periódico de las fuentes de abastecimiento y la desinfección permanente del agua para consumo humano con métodos caseros y comunitarios que eviten la ocurrencia de enfermedades de origen hídrico, frecuentes en la fase aguda del desastre. En la actualidad además el implementar estas medidas contribuye a la prevención de enfermedades como el Cólera, que ha causado estragos en países como Haití, con algunas regiones en similares condiciones sanitarias de nuestros países.

11.1 Desinfección doméstica del agua mediante la cloración: hipoclorito de sodio y de calcio

La desinfección del agua mediante cloración se hace a partir de compuestos que contienen cloro como el hipoclorito de sodio y el hipoclorito de calcio, elemento químico que tiene poder destructivo sobre los microorganismos patógenos potencialmente transmisores de enfermedades de origen hídrico, que se exacerban especialmente en situaciones de emergencias y desastres naturales.

- **El Hipoclorito de Sodio** es una solución que se puede obtener en el comercio (*blanqueador de ropa, límpido*) en concentraciones del 1 al 10%; en concentraciones mayores es inestable. Las soluciones recomendadas para la desinfección del agua de consumo humano deben tener idealmente una concentración de 5.25%, estar libres de sustancias aromatizantes, colorantes y otros aditivos que son tóxicos para los seres humanos.



Presentaciones del Hipoclorito de Sodio.



11.1.1 Procedimiento para la desinfección con hipoclorito de sodio

- Agregue 5 gotas de hipoclorito de sodio al 5.25% a cada galón de agua o 1 gota por litro de agua a desinfectar.
- Agite el agua y deje reposar por 30 minutos, luego puede utilizar el agua para consumo directo y/o la preparación de alimentos.
- Para la desinfección de frutas, verduras, hortalizas, etc., agregue 3 gotas de hipoclorito de sodio por cada litro de agua para utilizar en el lavado de estos alimentos, déjelos en reposo en esta agua por al menos 20 minutos.

- **El Hipoclorito de Calcio** es un producto granulado o en polvo, de color blanco, comercializado en canecas o bolsas en concentraciones desde 20 a 70% de cloro activo, también se consigue en forma de tabletas en concentraciones de 65 y 70% de cloro. Para el uso del hipoclorito de calcio granulado o en polvo en la desinfección del agua para consumo humano se preparan soluciones madre con una concentración de 1% de cloro disponible.



Presentaciones del Hipoclorito de Calcio: caneca y aspecto granular del cloro.



11.1.2 Procedimiento de preparación de la solución madre con hipoclorito de calcio

Materiales:

- 1 recipiente plástico de 20 litros
- 1 botella de 250 cc con tapón de caucho o corcho, rotulada.
- 1 frasco pequeño de color oscuro para almacenar el cloro granulado o en polvo, debidamente rotulado.
- 1 cucharita cafetera.
- 1 cuchara sopera
- Hipoclorito de Calcio, preferiblemente en concentración al 65%.

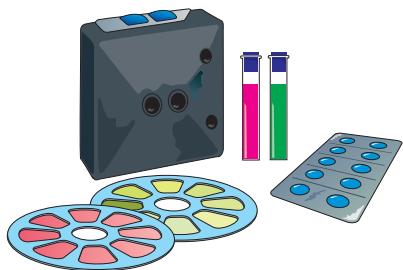
Pasos:

1. Lave muy bien los materiales a utilizar.
2. Rotule el frasco pequeño con la leyenda: “Cloro, polvo desinfectante” y la botella “Solución madre de cloro para desinfección”.
3. Tome una cucharadita a ras del cloro granulado o en polvo.
4. Vacíe el polvo en la botella de 250 cc.
5. Llene la botella con agua.
6. Tape la botella y agítela durante 3 minutos.
7. Deje reposar la solución preparada, durante una hora.
8. Sin agitar la botella que contiene la solución, llene una cucharada sopera y agréguela al recipiente plástico de 20 litros.
9. Llene el recipiente de 20 litros con agua y agítelo durante al menos 3 minutos.
10. Deje reposar el agua durante 30 minutos, luego puede utilizarla para consumo humano.

Dependiendo de la concentración de hipoclorito de calcio que se utilice, se indican a continuación el número de cucharaditas de gránulos o polvo a colocar en la botella de 250 cc.

% Cloro	30%	35%	40%	65%
# cucharaditas	2.5	2	1.5	1

Número de cucharaditas de hipoclorito de calcio a colocar en la botella de 250 cc, según concentración de cloro activo.



Comparador de cloro residual

11.2 Recomendaciones

- Si el agua a desinfectar está muy turbia, previamente déjela reposar un tiempo y/o pásela por un medio filtrante de arena, carbón activado, o un filtro doméstico antes de la cloración.
- La solución madre preparada en la botella debe ser utilizada antes de siete días, si sobra solución utilice en la desinfección de baños y pisos.
- Almacene el cloro en un lugar fresco y donde no penetre la luz.
- **Recuerde:** no agite la solución de cloro cuando la vaya a utilizar.

11.3 Control de la cloración

El tiempo de contacto mínimo entre el cloro y el agua debe ser de 30 minutos para lograr una adecuada desinfección.

En condiciones normales la dosis segura de cloro residual debe estar entre 0.2 – 1 partes por millón, en situaciones de emergencia debe asegurarse hasta 2 partes por millón para disminuir el riesgo de las enfermedades de origen hídrico. Para determinar el cloro residual se utilizan los comparadores de cloro en los que a través de comparación del color se determina la concentración de cloro residual que garantice la seguridad del agua para consumo humano.



Capítulo III

Perforación manual de pozos profundos de pequeño diámetro



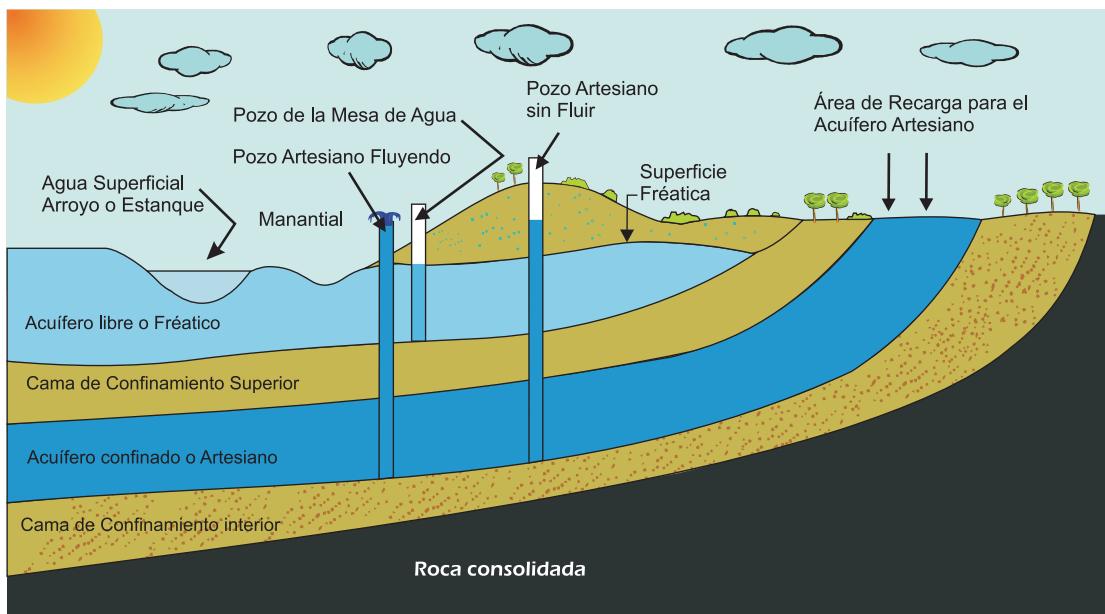
Foto: perforación de pozos profundos de pequeño diámetro, municipio de López de Micay, Cauca.

III. Perforación manual de pozos profundos de pequeño diámetro



12.1 Generalidades sobre las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas son producto de la infiltración de aguas superficiales que atraviesan la franja capilar del suelo y se almacenan en formaciones geológicas denominadas acuíferos, de los cuales se extrae agua mediante la perforación de pozos profundos, generalmente excavados de forma manual y de manantiales que son exposiciones naturales de las aguas subterráneas.



Aguas subterráneas y tipos de acuíferos. Fuente: Tomado de documento: Perforación manual de pozos profundos de pequeño diámetro. Ministerio de Medio Ambiente, SENA, OPS/OMS. 2003. <http://www.ecn.purdue.edu>

Las aguas subterráneas son en general de buena calidad debido a las capas del suelo que atraviesan y retienen la mayoría de contaminantes. En ocasiones la carga de minerales de algunas fuentes, suelen dar color y sabor desagradable que se eliminan con procesos de filtración a través de carbón activado y aireación.

12.2 Sistema AYNI para la perforación manual de pozos profundos de pequeño diámetro

La metodología AYNI³ fue adaptada por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS- y la OPS/OMS, como una alternativa para la provisión de agua segura en comunidades dispersas y/o de escasos recursos, con limitaciones para acceso al recurso hídrico. Esta tecnología se ha aplicado en Latinoamérica principalmente en Bolivia, Chile y Colombia.

En Colombia desde el 2003 se ha implementado la tecnología en los departamentos de Guajira, Nariño, Cauca y Chocó, logrando la perforación de pozos que han beneficiado a comunidades indígenas y afrocolombianas afectadas por el desplazamiento forzado y por desastres naturales, lo que ha permitido la transferencia de conocimientos, tecnologías y los equipos a la institucionalidad del sector salud y del ambiente y la introducción de modificaciones locales que recuperan practicas comunitarias que han optimizado el proceso.

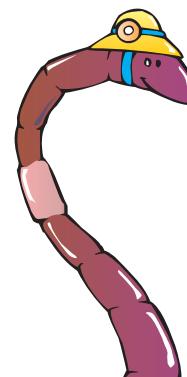
La perforación de pozos profundos de pequeño diámetro utiliza las técnicas de rotación y percusión cuya fuerza motriz es la fuerza humana. El diámetro de estos pozos es de 4", la máxima profundidad es hasta de 120 m⁴. En la experiencia de Tumaco - Colombia se logró perforar hasta 45 m en zona libre de material rocoso. El equipo de perforación está constituido por una torre de perforación, un sistema de rotación (brocas de 3 ½", 5 ½" y 6" de diámetro, tubería de 2" y 4" para encamisar el pozo y una manija), un sistema de percusión y un sistema de inyección y eyección de lodo (fosas y bomba).

³ El término AYNI significa en lengua Quechua: "prestar la mano", cooperación, solidaridad, trabajo comunitario, que son la esencia en la construcción de los pozos profundos de pequeño diámetro, por lo que la tecnología toma este nombre.

⁴ GTZ, OPS/OMS. La salud de las poblaciones indígenas: mejoramiento de las condiciones ambientales (agua y saneamiento) en las comunidades indígenas de Bolivia. 2000, Página 32.



Perforación manual de pozos profundos de pequeño diámetro, municipio de Quibdó, Chocó.





12.3 Etapas de la construcción de los pozos

Intervenciones previas:

- Incluye la realización del inventario de fuentes de agua en la zona.
- Establecer las características del terreno.
- Selección del sitio de perforación en un lugar alejado de fuentes de contaminación, en concertación con la comunidad para garantizar su participación en todo el proceso.
- Es útil el apoyo en estudios hidrogeológicos pre-

vios que facilitan la ubicación de los acuíferos.

Etapas de la perforación:

- Preparación y montaje previo de los equipos y su instalación en el sitio definido.
- Instalación del equipo de perforación: anclaje de la torre, instalación de la manija o agarrador en forma de T, los tubos de perforación y la broca, la excavación de las fosas de lodo, instalación de la bomba y manguera de inyección.

- Perforación: proceso de rotación y percusión generada por los operadores.

Etapa post perforación:

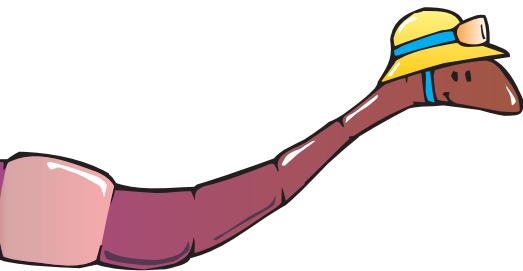
- Limpieza del pozo, entubado del pozo, instalación del sello sanitario, instalación de la bomba de agua y cabezal.
- Cuidados, control de posibles fuentes de contaminación y mantenimiento del pozo.

12.4 Construcción de los equipos de perforación

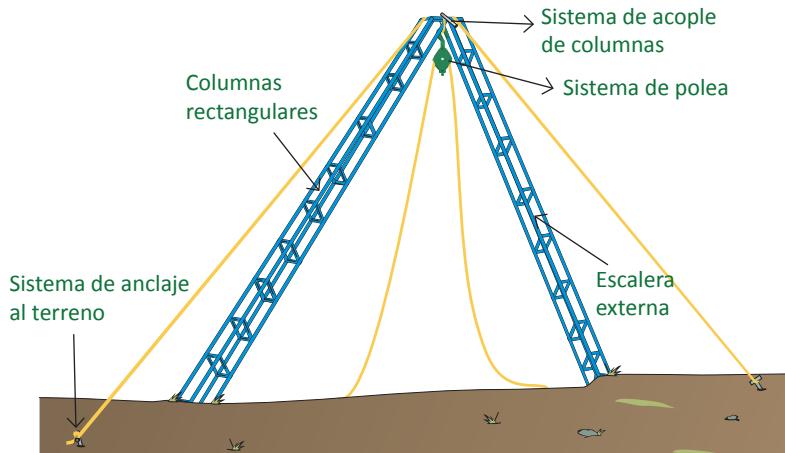
12.4.1 Torre de perforación

La torre de perforación es el sostén de la obra, por lo que requieren materiales resistentes y livianos para su transporte. Se han descrito al menos dos tipos de torres: de 2 y 3 cuerpos.

Torre de tres cuerpos: formada por una sola columna triangular, de tres varillas unidas por ángulos y dividida en tres cuerpos para facilitar el transporte. Es ideal para zonas de difícil acceso, para perforaciones en terreno areno – arcilloso y en ocasiones en terrenos con conglomerados.



Torre de perforación de dos cuerpos: La torre está compuesta por dos columnas rectangulares, cada una formada por 4 varillas unidas por ángulos como se esquematiza a continuación.



Esquema torre de perforación de dos cuerpos

Las dos columnas se unen entre sí formando una V invertida. Las estructurales de la torre de dos cuerpos son:

- 2 columnas rectangulares de 6 m.
- 1 sistema de acople de columnas.
- 1 sistema de polea que permite los movimientos de percusión.
- 1 escalera externa.
- 1 sistema de anclaje al terreno.



Esquema de la torre de perforación: polea, acople, columnas, ángulos. Tumaco, Nariño.



12.4.1.1 Pasos para la construcción de la torre de perforación

Las dos columnas de la torre son armadas por separado, con 4 ángulos de hierro de hasta 6 metros, unidos por ángulos de 20 cm y colocados cada 40 cm.

La tecnología inicial incluía el ensamble de ángulos de 44,7 cm

soldados en diagonal entre los ángulos de 20 cm para dar mayor rigidez a la estructura.

Para facilitar su transporte, cada columna armada se divide y rearma en dos partes de 3 metros cada una.



Fotos 1 y 2: Proceso de construcción de la torre de perforación de dos cuerpos, Tumaco, Nariño.

12.4.1.2 Materiales y herramientas para la construcción de la torre de perforación

CANTIDAD	MATERIAL	LONGITUD
Columnas		
8	Ángulos de hierro de ¾" x 1/8"	de 6 metros.
60	Ángulos de hierro de ¾" x 1/8"	de 20 cm, puestas cada 0.4 m.
30	Ángulos de de hierro de ¾" x 1/8"	de 44.7 cm, soldadas en diagonal entre las piezas de 20 cm
Sistema de acople		
1	Bisagra construida con 2 niples de tubo de hierro con un pasador asegurado con una tuerca en forma de cuña.	
Sistema de polea		
1	Polea	para realizar los movimientos de percusión
1	Cuerda de ½"	
Sistema de anclaje		
2	Cuñas para terminación de la torre en forma de cuña para anclaje.	
Herramientas: juego de llaves, machete, hacha, pala, cavador, azadón, palines (para excavaciones), martillo.		



12.4.1.3 Secuencia para la construcción de la torre de perforación de dos cuerpos



1



2



3

Foto 1: corte los ángulos en tramos de 20 cm. Foto 2: solde los tramos de 20 cm, uniendo los ángulos de 3 m de largo. Foto 3: arme una estructura conformada por 2 columnas de 4 ángulos de 3 m cada una. Fotos construcción torres y equipos de perforación, Cali, Tumaco y Quibdó.



4



5



6

Fotos 4: la estructura queda conformada por 4 ángulos de 3 m, unidos por tramos de 20 cm, intercalados cada 20 y 40 cm para asegurar la resistencia de la estructura. **Foto 5:** pula los bordes y termine el extremo de dos de las estructuras, en forma de triángulo, lo que permitirá el anclaje en el terreno. **Foto 6:** aplique pintura anticorrosiva. Fotos construcción torres y equipos de perforación, Cali, Tumaco y Quibdó.

La estructura final es una torre de 2 cuerpos, de 6 m de longitud cuyos cuerpos se arman con dos estructuras de 3 m, unidas entre si mediante un anclaje tipo bisagra, lo que facilitará su transporte.

12.4.2 Sistema de percusión y rotación

12.4.2.1 Barra o tubos de perforación y manija de rotación

Las barras o tubos de perforación son construidas a partir de tubos de hierro reforzado (scudol 40) de alta resistencia para soportar la percusión y torsión. Se requiere además una manija o palanca que facilita la rotación.



Foto 1: Barras de perforación



Armado de la barra de perforación y su acople a la manija de rotación, Municipio de López de Micay, Cauca.

12.4.2.2 Materiales para la construcción de las barras de perforación y manija de rotación

CANTIDAD	MATERIAL	LONGITUD
20-30	Tubos scudol 40 (SCH) de 4 metros de longitud y diámetro de 1"	4 metros
6	Tubos scudol 40 (SCH) de 2 metros de longitud y diámetro de 1"	2 metros
4	Tubos scudol 40 (SCH) de 1 metro de longitud y diámetro de 1"	1 metro
3	Manija en T de rotación de 1" scudol 40, un tubo de 3/4" y un tubo de 1/2"	0.60 x 0.30 metros
10	Uniones scudol 40 (SCH) de 1".	
Herramientas necesarias para el montaje		
Destornilladores, prensa de mordaza de cadena, llaves de tubo, marco, seguetas, juego de tarraja para tubo PVC.		



12.4.2.3 Secuencia para la construcción de la barra o tubos de perforación y manija de rotación



1



2



3

Las barras de perforación se construyen a partir de los tubos SCH40 de 1". Foto 1, 2 y 3: En un taller que disponga de torno, se les hace una rosca a cada extremo a las barras de perforación, lo que permitirá su acople a la siguiente. Fotos construcción torres y equipos de perforación, Cali, Tumaco y Quibdó.



4



5



6

Las manijas de rotación se construyen a partir de un tubo de hierro galvanizado de 1", 3/4" y 1/2". Foto 1, 2 y 3: se cortan 2 tramos de 30 y 50 cm de longitud del tubo de 1", se sueldan en forma de cruzeta tal como se ilustra en la serie de fotos. En la parte final del tubo más largo, se hace una rosca para el ensamble con la broca; en este tubo además se acopla una estructura en forma de gancho o L, elaborada con un tramo de tubo de 15 a 20 cm, que empieza con tubería de 3/4" y se reduce a 1/2" para mejorar la presión de agua interna que viene desde la bomba de lodos. Fotos construcción torres y equipos de perforación, Cali, Tumaco y Quibdó.

12.4.3 Broca de perforación

Las brocas realizan la perforación mediante la rotura, disgregación, trituración y mezcla de rocas. Las brocas se construyen fácilmente en un taller de soldadura con materiales de ferretería que se adquieren en los mercados locales.



Brocas de perforación construidas en el municipio de Tumaco, Nariño. Izquierda: para suelos blandos, derecha: para suelos duros con punta diamantada.

12.4.3.1 Materiales para la construcción de las brocas de perforación⁵

CANTIDAD	MATERIAL	ESPECIFICACIÓN	LONGITUD	DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	OBSERVACIÓN
1	Tubo 1"	Scudol 40 (SCH)	60 cm		Con rosca en extremo contra lateral a la broca
1	Varilla de 1/2"	Corrugada	30 a 60 cm	3 1/2" o 5 1/2"	Para entubar el pozo con tubería PVC sanitaria de 2" y 4", el número de varillas corrugadas, soldadas al tubo scudol de 1", determina el aumento o disminución del diámetro de perforación
2	Tubos de 3/4" y 1/2"	Hierro galvanizado	15 cm cada uno		Tubos que se fijan al interior del tubo scudol, que permiten la reducción del calibre y aumento de la presión de agua que proviene de la bomba de lodos.

⁵ Cuando los suelos son rocosos se requiere la construcción de una broca de punta diamantada, a partir de una barra de tungsteno de 60 centímetros.



12.4.3.2 Secuencia para la construcción de La broca de perforación



Varillas corrugadas.

1. A partir de una varilla de $\frac{1}{2}$ " de hierro corrugado, cortar 8 segmentos de 40 cm y 4 tramos de 15 cm.
2. Con percusión, moldear los tramos de 40 cm y dar forma semicircular y aspecto de broca.
3. Luego se sueldan a un tramo de 60 cm de tubo SCH40 de 1", 4 fragmentos de 40 cm de varilla por cada lado del tubo, utilizando soldadura eléctrica 14/16. El aumento o disminución de varillas corrugadas determina el diámetro de perforación.
4. A los 4 fragmentos de varilla de 15 cm se les hace una terminación en punta y se sueldan al extremo del tubo scudol de 1",
5. Al tubo scudol de 1" se fijan en su interior los tramos de tubo de 15 cm de hierro galvanizado, de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " por los cuales saldrá el agua a presión que proviene de la bomba de lodos.
6. El tramo de tubo de 1" debe ser de acero al carbón para garantizar la resistencia de la rosca que se le hace en la parte superior, que soportará el peso de las barras de perforación.



1



2



3

Foto 1: brocas armadas. Foto 2: Acople de la broca a una barra de perforación. Foto 3: ubicación de la broca en el sitio de perforación, vereda El Rosario, municipio de El Charco, Nariño.

12.4.4 Sistema de inyección - eyección - bomba de lodos

12.4.4.1 Partes de la bomba de lodos

La bomba está constituida por la manija, el cuerpo, el pistón, la válvula y el colector de lodo. Es un dispositivo mecánico para inyectar lodo o agua durante la perforación, lo que facilita la perforación y evita derrumbes en la pared del pozo. La bomba se instala en uno de los extremos de la fosa y es accionada por un operador mediante presión en la manija.

Manija: es la parte superior del pistón, tiene forma de T y permite la operación del pistón, asegurando el efecto de bomba de succión de agua.

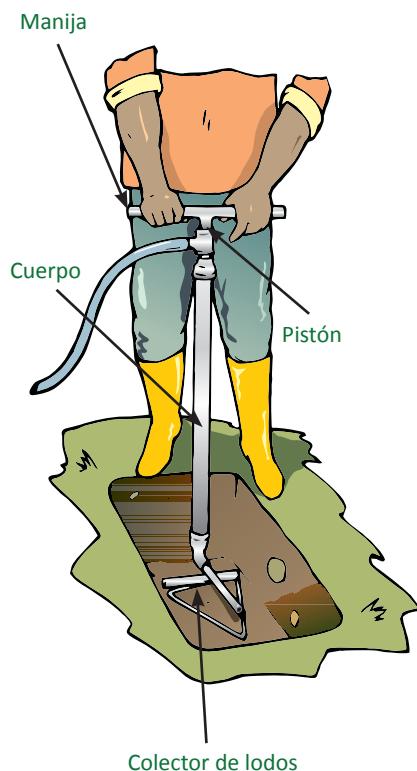
Cuerpo: es la parte externa de la bomba, formada por un tubo galvanizado de 55 cm de largo y 2" de diámetro, sin vena interna.

Pistón: va dentro del cuerpo y está formado por el agarrador en T, con boquilla de 3/4" y es la palanca que sirve al operario para realizar la presión en la bomba. El pistón está unido a la sección anterior y tiene el mismo diámetro y una longitud de 60 cm.

Válvula: se encuentra en la parte inferior del pistón, cumple la función de sostén de la canica de cristal que permite el paso del agua, que se sella cuando el agua intenta devolverse.

Colector de lodos: va sumergido en la fosa de succión, esta formado por 2 nipples, uno de 20 cm y otro de 30 cm, ambos de 1", soldados en forma de T y reforzados con varilla corrugada que completa el triángulo. El nipple más largo es ranurado con segueta para que sirva como filtro colector. Un extremo del nipple tiene rosca para empatar con el codo y el otro extremo está cubierto con soldadura.

Esquema bomba de lodos



12.4.4.2 Materiales para la construcción de la bomba de lodos

ELEMENTOS	MATERIAL	DIMENSION	CANTIDAD	DETALLES
MANIJA (PISTÓN – VÁLVULA)				
Tapón rosca	Galvanizado	¾"	2	Para las manijas
Niple	Galvanizado	0.25 m x ¾"	2	Roscas en los extremos 30 mm para tapones T
T	Galvanizado	¾"	1	Para manija
Niple	Galvanizado	0.30 m x ½"		En ángulo de 45º, Tubo en L boquilla de lodo
Niple	Galvanizado	0.6 m x ¾"	1	Pistón
Unión copa	Galvanizado	¾" a 1"	1	Para válvula de pistón
Niple	Galvanizado	75 mm x 1"	1	Roscas en extremos 25 mm
Arandela	Hierro	Orificio interno ¾", exterior ½"	1	Para válvula de pistón
Empaquetadura	Goma o cuero	Orificio interno ¾", exterior ½"	2	Para válvula de pistón
Arandela	Hierro	Orificio interno ¾", exterior ½"	1	Soldada o roscada al pistón
Bola	Cristal	20 mm de diámetro	1	Para válvulas de pistón
Unión copa	Galvanizado	¾ a 1" de diámetro	1	Válvula para niple
Niple	Galvanizado	50 mm x ¾"	1	Con rosca de 25 mm, con asiento para boliche
Tuerca	Galvanizado	Orificio interno de ¾"	1	Para válvula de pistón
CUERPO				
Unión copa	Galvanizado	2" a 1"	1	Parte superior del cuerpo
Tubo sin vena	Acerado o galvanizado	0.55 m x 2"	1	Roscas en los extremos de 340 mm
Unión copa	Galvanizado	2" a 1"	1	Parte inferior del cuerpo
Niple	Galvanizado	80 mm x 1"	1	Rosca en los dos extremos
Codo	Galvanizado	1"	1	Orificio para varilla
COLECTOR DE LODO				
Bola	Vidrio	25 mm	1	Canica
Niple	Galvanizado	0.8 m x 1"	2	Se deben soldar para forma una T, reforzada con varilla a manera de base al niple.
Niple	Galvanizado	0.30 m x 1"	1	Rosca de 2 mm en su extremo ranurado
Tapón	Galvanizado	1"	1	Para niple



12.4.4.3 Secuencias para la construcción de la bomba de lodos

1. Corte un tramo de 70 – 80 cm de tubo galvanizado de 1 ½”
2. Adapte en un extremo del tubo una copa reducción de 1 ½” a ¾”
3. Adapte en el otro extremo del tubo una copa reducción de 1 ½” a 1”, conecte sobre este un codo de 1”.
4. Dentro del codo se adapta un pasador soldado, que sostendrá la canica de cristal y hará el efecto de válvula.
5. Al codo se adapta un tubo (niple) de 1” y de 30 cm, que hará las veces de colector de lodos, por lo cual se le hacen ranuras en su medio diámetro superior.
6. Adapte en la parte superior del tubo galvanizado con copa reducción a ¾” (punto 2), una unión roscada de ¾” más un niple del mismo diámetro de 40 cm de longitud, formando una cruceta que servirá como manija de la bomba.
7. Para la salida del agua, soldar un tubo de ½”, de 10 cm de longitud en forma de L o gancho.
8. Para la base del colector, soldar en la parte inferior del niple ranurado y en forma de cruz, un tubo galvanizado de 40 cm de 1”, y complete el triángulo formado con dos trozos de varilla de hierro corrugada que van desde los extremos del tubo en cruz hasta la punta del niple ranurado.
9. Adapte un tramo de tubo de 15 cm de hierro galvanizado, de ¾” en el interior del tubo de 1 ½”, que servirá como pistón de la bomba de lodo.
10. Finalmente se arma toda la estructura y se prueba su funcionamiento.



1



2



3

Foto 1: preparación del colector. Foto 2: adaptación de la bola de cristal en el codo del colector. Foto 3: Instalación de la bomba en la fosa de lodos. Fotos construcción e instalación bomba de lodos, municipios de Tumaco y El Charco, Nariño.

12.5 Técnicas de perforación

12.5.1 Procedimiento para el montaje y anclaje de la torre de perforación

En el sitio seleccionado para hacer la perforación del pozo, se unen las partes en que se ha dividido la torre, se excavan dos fosas pequeñas para introducir y asegurar los extremos de las columnas que terminan en cuña.

Se unen las partes que forman los cuerpos de la torre mediante bisagras ancladas con pasadores (Foto 1, 2 y 3). Se levanta la torre y se ancla en las fosas construidas, se nivela verticalmente la torre utilizando un nivel y una plomada.

La torre debe asegurarse con tensores a unas cuñas, postes de madera u otro material enterrado en el piso. Los tensores se ubican en direcciones opuestas y en forma perpendicular al eje de los extremos de la torre, a 8 m de distancia desde la base.

El primer tubo o barra de perforación de 1 m se une por un extremo a la manija o agarrador y por el otro extremo se une a la broca (Foto 5). Las piezas montadas se aseguran a la manija (o cuerda) del sistema de polea que se desprende de lo alto de la torre.



5



4



1



2

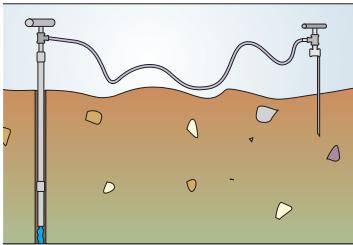


3

Foto1: Torre armada de dos cuerpos, municipio de Quibdó, Chocó.

Foto 2 y 3: alistamiento de los equipos y materiales de perforación, municipio de El Charco, Nariño.

Foto 4 (Quibdó, Chocó) y 5 (EL Charco, Nariño): Instalación de las cuerdas que servirán de soporte a la broca y barras de perforación, en el ángulo de unión de los dos cuerpos y levantamiento de la torre anclada al suelo.



Esquema de la instalación de la bomba de lodos.



1



2

Fotos 1 y 2: construcción de la fosa de lodos a máximo 2 m de distancia de la perforación del pozo, y ubicación de la bomba de lodos en el fondo de la fosa. Quibdó, Chocó.

12.5.2 Instalación del sistema de inyección de lodos

La circulación de lodo durante la perforación tiene como propósito además de traer a la superficie el material excavado, evitar que las paredes del pozo se derrumben. El sistema consta de dos fosas excavadas en el terreno, unidas por un canal, una bomba manual de lodo y una manguera de inyección para lodo.

La fosa principal tiene como propósito recibir el lodo de la perforación, se construye de 0.6 m de largo x 0.4 m de ancho x 0.30 m de profundidad y se acompaña de una malla de anejo o plástico para tamizar materiales que no decantaron en la fosa intermedia. La fosa intermedia o desarenadora es un decantador de los materiales más gruesos que ascienden de la perforación; las dimensiones son 0.3 m x 0.2 m x 0.15 m.

Las fosas están unidas por canales construidos con desnivel para permitir la circulación del lodo que desde el sitio de la perforación va a la fosa intermedia y termina en la fosa principal para reiniciar el ciclo.

Posteriormente se instala la bomba de lodos en un extremo de la fosa principal y se asegura sobre maderos atravesados en la parte superior de la fosa. Un extremo de la manguera se instala en el orificio de salida de la manija de la bomba de lodos y el otro va al sitio de la perforación para ajustarse a la manija del sistema de rotación.



3



4

Fotos 3 y 4: llenado de la fosa y drenaje de los fluidos de la perforación. El Charco, Nariño.

El lodo se prepara con 50 kg de arcilla mezclados con agua con lo que se obtiene el fluido de perforación que se deposita en la fosa principal que posteriormente circulará y recirculará para la evacuación de materiales del pozo y garantizar la estabilidad de las paredes. En terrenos arcillosos solo basta inyectar agua. Los requerimientos de personal son los siguientes:

- Se requieren de 2 a 4 personas para halar la soga sujeta al tubo de perforación que permite realizar el movimiento de percusión. Al avanzar en la perforación se requiere movilizar más tubos y más operarios para su elevación.
- Un operario para realizar el movimiento de rotación durante la perforación; debe ser relevado periódicamente.
- Un operario para accionar la bomba de inyección de lodos. El equipo de trabajo puede ser integrado hasta por 10 personas que pueden trabajar en turnos en los sistemas de rotación y percusión.



12.6 Perforación del pozo

La perforación del pozo se realiza gracias a los movimientos de percusión y rotación manual de la broca y de los tubos de perforación. La inyección del lodo facilita la construcción del pozo. Como se anotó anteriormente, de acuerdo al número de tramos de varilla corrugada soldadas al tubo central de la broca, se consigue un mayor o menor diámetro de perforación.



1



2

Procedimiento para el inicio de la perforación. Foto 1: municipio de Quibdó, Chocó. Foto 2: municipio de Tumaco, Nariño.

1



Municipio de El Charco, Nariño.

12.6.1 Movimiento de percusión

Es el movimiento constante de elevación y caída de barras de perforación, realizado a partir de una cuerda atada a la manija de rotación, que pasa por la polea y está unida en su otro extremo a un madero o un tubo galvanizado halado por los operarios que elevan los tubos de perforación para dejarlos caer libremente, con lo que el golpe brusco de la broca en el terreno romperá y ablandará el material rocoso.

2



Municipio de El Charco, Nariño.

12.6.2 Movimiento de rotación

En este procedimiento la broca gira arrancando el material rocoso por abrasión del mismo, mediante movimientos de torsión y rotación. La torsión de la manija en T se hace rotando en el sentido de las manecillas del reloj (para evitar que se aflojen las barras de perforación). Cuando la broca se atasca se realiza un pequeño giro de retroceso. La rotación en dos sentidos consiste en un movimiento de desplazamiento lateral de izquierda a derecha sobre el eje de las barras de perforación y en simultánea un movimiento de rotación de 360°. Este procedimiento se realiza para que el pozo se mantenga recto, sin desplazamiento.

3



Municipio de Quibdó, Chocó.

12.6.3 Procedimiento de perforación

Para iniciar la perforación se utiliza la barra de 1 m, que está unida en un extremo a la broca y a la manija de rotación en el otro, que a su vez está acoplada al sistema de elevación (Foto 4).

La barra se levanta a 50 cm del sitio y se deja caer bruscamente sobre el sitio de perforación. El proceso se inicia excavando 50 cm en seco para garantizar la verticalización del pozo.

Fotos 1, 2 y 3: Preparación de la broca, y ubicación de ésta en el sitio de inicio del proceso de perforación con movimientos de rotación y percusión.



4



5

Fotos 4 (El Charco, Nariño) Foto 5: (Quibdó, Chocó) prolongación de la broca mediante las barras de perforación y continuación de los movimientos de rotación y percusión hasta lograr la profundidad deseada.

Posteriormente se empieza la inyección del lodo y comienza la secuencia de perforación: movimientos de percusión – rotación. Al perforar el primer metro de profundidad se reemplaza la barra de esa longitud por una barra de 2 metros y se avanza; perforados los 2 metros se adiciona una barra de 1 m, perforados los 3 metros se retiran las dos barras y se coloca la barra de 4 m. Este procedimiento se realiza hasta lograr la profundidad deseada.

Para el cambio de barras de perforación se deben seguir los siguientes pasos: retirar la manguera de lodo, asegurar las barras con una prensa de mordaza de cadena, retirar el agarrador en T y las barras respectivas. Para el montaje de las siguientes barras, colocar la nueva barra de perforación, el agarrador en T, luego la manguera de lodo, se ajusta la barra, se retira la prensa y se continúa con la perforación. Es necesario examinar periódicamente el material extraído con el lodo y observar las características mineralógicas y de textura del mismo para identificar los lechos y cercanía del acuífero.

12.6.4 Procedimientos post perforación

En esta etapa se realiza la limpieza del pozo, la extracción de todo el lodo y materiales de suspensión y sobrantes de la circulación del lodo como preparación para la encamisada del pozo. El lavado del pozo se realiza con la tubería aún en su interior y apoyado con la bomba de lodo que ahora estará instalada sobre un recipiente de agua limpia, desde donde se bombeará agua para que circule hasta que salga lo más clara posible.





1



2



3



Foto 1, 2 y 3: Procedimiento de fabricación del filtro, encamisado e introducción en el pozo, Tumaco, Nariño.

Una vez lavado el pozo se retiran los tubos de perforación teniendo en cuenta los siguientes pasos: asegurar el primer tubo con una prensa de mordaza de cadena para tubería, se retira la manguera de inyección de lodo, la manija y el tubo se retira desenroscándolo hasta llegar a la broca.

12.6.4.1 Entubado del pozo

El entubado del pozo tiene la función de proteger las paredes del mismo para evitar derrumbes; estos tubos son la conducción hidráulica que pone en contacto el acuífero con la superficie. El tubo de 6 m (o más dependiendo de la profundidad del pozo) se perfora en sus últimos 3 metros (los más distales o profundos), realizando 4 agujeros en su contorno cada cm, con una broca de $\frac{3}{4}$ " o $\frac{1}{2}$ ", con lo que el tubo perforado se comporta como un filtro por donde ingresa el agua del acuífero al pozo. Los filtros se protegen con una funda de tela sintética - poliéster que se cose manualmente alrededor del tubo, que retendrá las partículas de arena. Para el ensamble de un tubo con el siguiente, se realiza una copa (dilatación mediante la aplicación de calor) en la que se aplica pegante PVC y se realiza el ensamble con el siguiente tubo.

Los tubos se introducen en el pozo, iniciando con el tubo – filtro y luego los demás, tantos como profundidad tenga el pozo, dejando sobresalir el último tubo hasta 50 cm por encima de la boca del pozo. Durante el procedimiento de entubado se debe inyectar agua limpia para evitar el ingreso de agua del acuífero a través del filtro.

12.6.4.2 Limpieza y sellado de las paredes del pozo

Con la limpieza del pozo se retiran los residuos del filtro y del fondo del pozo, esta se realiza introduciendo la manguera en el pozo, se sella con neumático el espacio entre la manguera y el encamisado para que el agua no se devuelva y pierda la presión. Finalmente se inyecta agua a presión y se lava el filtro (Foto 3).

Luego del entubado del pozo debe rellenarse el espacio entre el diámetro externo y el encamisado, con arenilla que permita el paso del agua al filtro y sellar las partes que no sean útiles o que puedan originar

contaminación. La parte inferior donde están los filtros se rellena con arena gruesa, el resto con arcilla seca. Para proteger el pozo de contaminación superficial, se impermeabiliza la parte superior con una mezcla semi-húmeda de cemento gris y arcilla. Se moldean unas esferas de esta mezcla y se introducen en el espacio entre el diámetro externo y el entubado.

12.6.4.3 Desarrollo del pozo

Este procedimiento busca extraer los restos de lodo y detritus de la perforación, estabilizar las formaciones arenosas y obtener el mejor rendimiento del pozo. Se requiere una manguera de $\frac{1}{2}$ " y longitud mayor a la profundidad del pozo, que tiene una válvula de retención en un extremo y un tapón en el otro (Foto 2). La manguera se introduce hasta el fondo del pozo durante 30 minutos, introduciendo y retirándola con movimientos rápidos sin sobrepasar la marca del borde del encamisado. Se retira el tapón de la manguera o se espera que por la presión sea expulsado por la fuerza del agua que limpiará el pozo. El procedimiento se realiza hasta que el agua salga clara.

12.7 Base del pozo y protección sanitaria superior

Para dar protección a la parte externa del pozo y soporte a la bomba de agua, se construye una base en concreto alrededor del pozo. En su construcción se desarrollan los siguientes pasos: se corta el tubo que sobresale del pozo, dejando 0.3 m sobre el nivel del suelo que se dilata con calor en su porción final para empatar con un tubo galvanizado de 0.6 m x 2" en cuyo extremo inferior deben ser soldadas 4 varillas de hierro de $\frac{3}{8}$ " y 0.15 m para asegurar el amarre de la tubería a la plancha de concreto. El extremo superior lleva una rosca con 1 unión copa de 2" a 1".

Fotos 4 (El Charco, Nariño) Foto 5 (Municipio de López de Micay, Cauca) Foto 6 (El Charco, Nariño): detalles de la introducción del tubo filtro encamisado en el pozo y la tubería de succión de la bomba manual. Instalación de la bomba manual externa.



4



5



6



1



2



3

Fotos 1 y 2: Instalación de la base de concreto para el anclaje de la bomba y protección superior del cabezal de la bomba. Municipio de Tumaco, Nariño.

Foto 3: aspectos de la limpieza del pozo aclarado del agua. Municipio de López de Micay, Cauca.

Las 4 varillas se aseguran a una placa de concreto (1:2:3) de 0.5 m x 0.5 m x 0.3 m. Finalmente se construye un piso con pendiente alrededor de la base en concreto para la protección superior del pozo. La plancha debe tener un cimientado de 0.3 m donde se instalan 4 pernos para asegurar la plataforma de la bomba de agua.

12.7.1 Bomba manual de agua

La etapa final de la perforación consiste en instalar la bomba para la extracción de agua del pozo. Las bombas tienen capacidad para suministrar un caudal de hasta 30 litros/minuto (depende además de las características del acuífero), bombear hasta 30 m de altura y hasta 300 m lineales. La longitud de la bomba depende de la ubicación del nivel estático y de la profundidad del pozo, llegando a una longitud de hasta 20 – 50 cm menos que el encamisado del pozo.

12.7.1.1 Partes de la bomba manual de agua

Cabezal o parte externa de la bomba, varía de 65 a 74 cm y con un peso de 8 kg. Está compuesto por la manija en T o agarrador externo, mide entre 42 – 44 cm x $\frac{3}{4}$ " que se manipula con movimientos ascendentes y descendentes para la extracción del agua. La descarga u orificio de salida ubicada en la parte inferior de la manija en T, con longitud de 18 cm x $\frac{1}{2}$ ". El cilindro o cuerpo es un tubo de 45 cm x $\frac{1}{2}$ ", con una rosca de 22 mm en el extremo superior donde se conecta con la descarga y de 45 mm en el inferior.

Conjunto inferior de la bomba El conjunto inferior de la bomba es la parte de la bomba que está en la porción inferior del pozo; está conformado por el cilindro o cuerpo, el émbolo o pistón, la válvula de pie del pistón, la válvula de pie del cilindro y el filtro. El cilindro o cuerpo es un tubo de PVC de 1" que contiene el pistón; en su parte inferior está conectado un adaptador macho de PVC de 1" y 1 buje reducción galvanizado de 1" a $\frac{3}{4}$ ". El pistón es un tubo de PVC de $\frac{1}{2}$ " que va unido al cabezal de la bomba mediante una unión de $\frac{1}{2}$ ".

La válvula de PVC de pie de pistón se ubica en la parte inferior del pistón y va dentro del cuerpo o cilindro. Su movimiento permite el paso de agua del cuerpo al pistón. Está conformada por un buje reducción para asegurar la varilla pasador de PVC, 1 niple de PVC de ½", 1 unión rosca PVC de ½", 1 empaquetadura de cuero o sellos y 1 unión de PVC de ½". La válvula del cuerpo o cilindro se localiza en el cuerpo o cilindro de la bomba, por debajo de la válvula PVC de pie de pistón, está fija y permite el paso del agua del pozo al cuerpo o cilindro en un solo sentido.

El filtro está ubicado en el extremo inferior de la bomba, se une a la válvula del cuerpo por un buje de reducción PVC de 1 a ¾", con longitud de 25 cm. El filtro es agujereado manualmente con una broca.



Aspectos de la bomba manual funcionando. Municipio de Tumaco, Nariño.



12.7.1.2 Materiales para la construcción del cabezal de la bomba

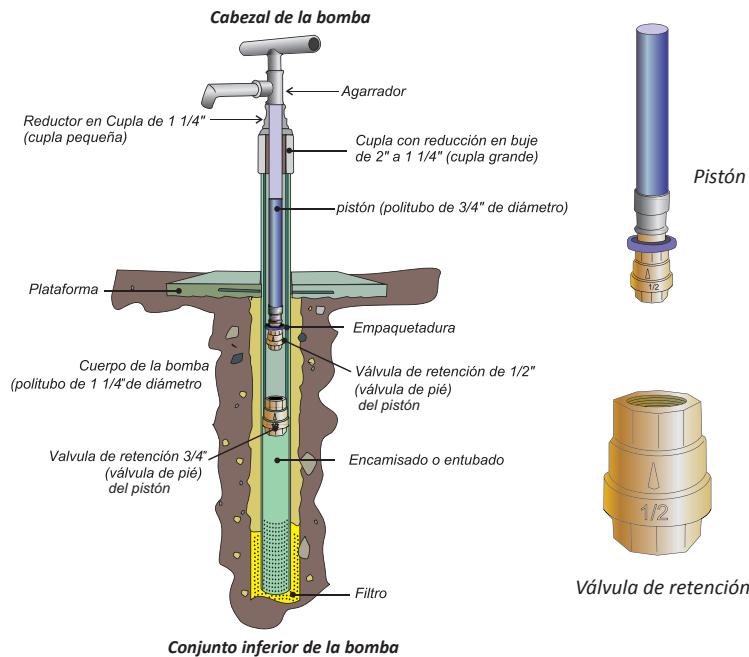
ELEMENTOS	MATERIAL	DIMENSIONES	CANTIDAD	DETALLES
MANIJA EN T				
Niple	Galvanizado	¾ x 180 mm	2	
Tee	Galvanizado	¾"	1	
Bushing	Galvanizado	¾" a ½"	1	
Niple	Galvanizado	½" x 30 mm	1	Hilo corrido
Codo	Plástico	¾"	2	
DESCARGA				
Niple	Galvanizado	½" x 50 mm	1	Niple
Codo	Galvanizado	½"	1	Codo
Niple	Galvanizado	½" x 180 mm	1	Niple
Tee	Galvanizado	½"	1	Tee
CUERPO O CILINDRO				
Tubo	Galvanizado	½" x 450 mm	1	Rosca de 45 mm extremo e inferior 22 mm en la superior
BASE				
Varilla	Hierro	3/16"	1	Soldadas para fundir la base



12.7.1.3 Materiales para la construcción del conjunto interior de la bomba

ELEMENTOS	MATERIAL	DIMENSIONES	CANTIDAD	DETALLES
CUERPO O CILINDRO (tubería de soporte)				
Adaptador macho	PVC	1"	1	
Unión copa	Galvanizado	1" a ¾"	1	
Tubo	PVC	1" x 60 mm	Según profundidad del pozo	
Unión	PVC	1"	Según cantidad de tubos de 1" del cuerpo	
VÁLVULA DE PIE DEL CUERPO O CILINDRO				
Adaptador macho	PVC	1"	1	
Adaptador hembra	PVC	1"	1	
Niple	PVC	1" X 100 mm	1	Cuerpo de la válvula
Varilla	PVC	10 mm x 80 mm	1	Se obtiene de tubería PVC
Bola	Vidrio	25 mm	1	Bolicho, canica
Tubo	PVC	¾ x 350 mm	1	Asiento para el bolicho
Adaptador Macho	PVC	1"	1	
FILTRO				
Unión rosca	PVC	1"	1	
Tubo	PVC	1" x 30 mm	1	El cuerpo del tubo lleva 40 agujeros de ¼"
Tapón sin rosca	PVC	1"	1	
Tela (poliéster)	Geotextil Polipropileno	240 x 140 mm x 2,0 – 2,5 mm	1	Permeabilidad: 0,40 – 0,60 cm/s Permitividad: 2,10-2,28 s ⁻¹ tamaño aparente de abertura: - Malla (U.S): 100-70 – En milímetros: 0,15 – 0,20
Sujetadores	plástico	150 mm	1	Atadores para tela
PISTÓN (tubería de impulsión)				
Unión hembra	PVC	½"	1	Rosca interna
Tubo	PVC	½"	Según profundidad del pozo	
Unión simple	PVC	½"	Según cantidad de tubos de ½" del pistón	
VÁLVULA DE PIE DEL PISTÓN				
Adaptador macho	PVC	½"	1	
Adaptador hembra	PVC	½"	1	
Niple	PVC	½" x 39 mm	1	Cuerpo de la válvula
Varilla	PVC	9 x 27 mm	1	Se obtiene de tubería PVC
Arandela	PVC	Espesor 5 mm	2	1ª y 2ª empaquetadura
Empaquetadura	Cuero	Espesor 3mm	2	Diámetro externo 1"
Arandela	PVC	Espesor 3mm	1	Separa las empaquetaduras
Bola	Vidrio	16 mm	1	Canica
Niple	PVC	½" x 100 mm	1	Cuerpo de la válvula
Adaptador macho	PVC	½"	1	Con asiento para canica

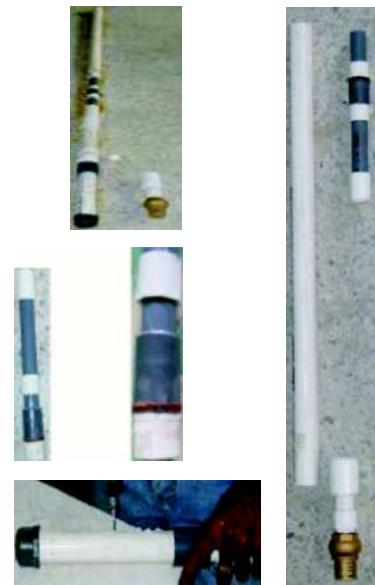
12.7.1.4 Esquema de la bomba manual de agua



12.7.1.5 Montaje de la bomba manual de agua

El montaje se realiza en el interior del pozo, inicia con la unión de la válvula de pie de pistón a éste y la válvula de pie de cilindro a éste. Se introduce el cilindro o cuerpo (tubo de 1") dentro del pozo, adicionando y uniendo los tubos hasta alcanzar la profundidad de hasta 20 – 50 cm menos que la profundidad total del pozo. Se corta el tubo sobrante y se pega el adaptador macho de 1", asegurándolo con una unión galvanizada de 1" a 3/4" a la base del pozo en el niple de 2".

Finalmente se introduce el pistón (tubo de 1/2") dentro del cilindro, uniendo los tubos necesarios hasta alcanzar la profundidad necesaria de 30 – 40 cm menos que la profundidad total del pozo. Se corta el tubo sobrante y se instala a la manija o agarrador en T.



Accesorios del conjunto interior de la bomba: válvulas y filtro



Pozo construido en el barrio Puerta del Sol, municipio de Tumaco, Nariño.



Pozo terminado, comunidad El Trapiche, municipio de López de Micay, Cauca.

13. Recomendaciones para la protección y mantenimiento de los equipos

13.1 Anillos de protección alrededor del pozo

Para evitar la contaminación del agua, es necesario restringir ciertas actividades en las zonas aledañas al pozo. Se establecen al menos tres anillos de protección a partir de las estructuras externas:

Primer anillo de protección (zona inmediata) que abarca el área ubicada en un radio de 30 m, es necesario la restricción total de las siguientes actividades: disposición de residuos sólidos, líquidos y en general de efluentes y drenajes de viviendas (excepto aguas lluvias), de instituciones y empresas, actividades de minería y agropecuarias.

Segundo anillo de protección (área mediata), que va desde los 30 m a los 300 m, con las mismas restricciones de la zona anterior, permitiendo de manera controlada las actividades relacionadas con temas recreativos, y de tránsito.

Tercer anillo de protección (zona lejana) que llega hasta un radio de 1 km, se dedica al control de fuentes de agua y de posibles contaminantes. En general se recomienda la construcción de desagües aledaños al pozo, prohibir actividades relacionadas con el aseo personal, doméstico, agrícola y pecuario, además de la limpieza de la vegetación y la señalización del área con mensajes donde se invite a la comunidad al cuidado de las fuentes de agua y del pozo.

La vida útil de la bomba es de 3 a 6 años, sin embargo el cuerpo y el pistón se pueden desgastar por roce mutuo, disminuyendo la producción de agua. Para el mantenimiento se retira la bomba, se extrae el pistón y luego el cuerpo o cilindro.

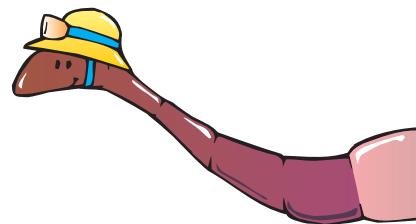




13.2 Pasos para el mantenimiento del pozo

Es necesario realizar mantenimiento preventivo y periódico al pozo, al menos una vez cada seis meses o cuando se observe disminución del caudal de agua o alteraciones en su calidad. El mantenimiento se realiza tapando el orificio de la salida del agua del cabezal, bombeando varias veces en posición de los puntos cardinales hasta que brote agua entre las uniones del cuerpo y el émbolo. Posteriormente se destapa bruscamente el orificio de salida del agua y se sigue bombeando por algún tiempo.

Adicionalmente se requiere la toma periódica de muestras de agua para la vigilancia física, química y bacteriológica de su calidad, responsabilidad de las autoridades sanitarias de las entidades territoriales.



13.3 Pasos para el mantenimiento de la bomba manual de agua

Para el desarme de la bomba se desenrosca la unión galvanizada que asegura el pistón, se debe tener precaución en no desenroscar la unión copa que asegura el cuerpo de la bomba. Se desarma la bomba manual retirando el pistón de la manija en T, revisar los componentes de la bomba. El pozo debe permanecer tapado para evitar la caída de elementos ajenos al pozo. Se deben revisar, limpiar y ajustar las válvulas (émbolo y pistón), las empaquetaduras, el desgaste de la canica de cristal y de los tubos del cuerpo y pistón.

Para garantizar el mantenimiento del pozo, se recomienda la constitución de un comité comunitario para el manejo, mantenimiento y control de las estructuras, lo que garantizará la permanencia del servicio.

Es fundamental que personas de la comunidad que participen de la construcción de los pozos queden empoderadas de los conocimientos, técnicas, herramientas y del manejo – mantenimiento integral del pozo⁶.

⁶ Este aspecto ha sido determinante para el éxito en el funcionamiento de los pozos construidos por Las Secretarías Municipales de Salud.





Glosario

Acople	Unir entre si dos piezas
Acuífero	Terreno donde circula y se almacena agua en cantidades apreciables para su uso
Agarrador	Palanca en forma de T ; manija
Barra	Pieza mucho más largas que gruesas; palanca de hierro
Bombear	Sacar o trasegar un liquido por medio de una bomba
Camisa	Revestimiento en forma de capa que recubre el interior de una cosa; encamisar un pozo
Caudal	Cantidad de agua que mana o corre
Cilindro	Es el dispositivo en donde tiene lugar la impulsión del agua mediante el deslizamiento del pistón
Detritus	Son residuos sólidos que provienen de la descomposición de fuentes orgánicas
Elevación	Alzar elevar una carga
Ensamblar	Unir, juntar
Entubar	Encamisar; poner el tubo para proteger el pozo
Filtro	Es elemento encargado de dejar pasar agua y mejorar sus condiciones físicas y/o químicas para el consumo humano
Gravedad	Peso de los cuerpos
Guía externa	Dispositivo que permite centrar la columna de descarga
Guía interna	Dispositivo que evita la rotación del mango, así como, centrar la columna de descarga. Va unida a la tubería de impulsión

Hídrica	Relativo a agua
Hidrológico	Parte que trata o estudia los líquidos de la tierra
Inyección	Acción o efecto de inyectar; fluido inyectado
Niple	Parte de un cosa, tubo, varilla,
Palin	Herramienta para hacer excavaciones
Perforar	Agujerear, hacer un hueco
Pistón	Pieza en forma cilíndrica, que transmite un impulso al agua al desplazarse verticalmente por el interior del cilindro, transmitiendo una presión que hace posible la apertura y cierre de la válvula del pistón
Plomado	Poner en un plano en la posición horizontal y vertical justa.
Polea	Rueda de madera o metal, de canto acanalado, móvil sobre su eje, por el corre una soga.
Rebose	Derramarse un líquido
Torsión	Acción de torcer
Tracción	Arrastrar, tirar
Tubería de impulsión	Elemento de transmitir el impulso desde el cabezal hacia el pistón de la bomba, además por su interior se conduce el agua desde la válvula de pie del pistón el cabezal
Tubería de soporte	Es el elemento encargado de sostener la bomba uniéndola al cabezal. Por su interior se desplaza la tubería de impulsión.
Válvula	Pieza que sirve para interrumpir la comunicación entre dos órganos de una máquina o entre estos y el medio exterior.



Referencias bibliográficas

- Cabrera N. Hugo. Implementación de tecnología alternativa para el abastecimiento del recurso hídrico del sector rural disperso. Trabajo para optar al título de Ingeniero de ejecución ambiental en la universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería. Santiago de Chile. 2005.
- Características de la torre de perforación. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org/busatp/E/otrateg/torre.pdf>
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – División de Salud y Ambiente – CEPIS. OPS/OMS. Pozos de agua guía de perforación manual. Lima 2002. Disponible en <http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%203%20Bombeo/Guia%20de%20perforaci%C3%B3n%20manual%20de%20pozos.pdf>
- Cuza Alvaro; Chaverra José y Russo Gloria. Perforación manual de pozos profundos. Riohacha. Colombia, 2002.
- GTZ, OPS/OMS. La salud de las poblaciones indígenas: mejoramiento de las condiciones ambientales (agua y saneamiento) en comunidades indígenas. Bolivia, 2000.
- Instituto Departamental de Salud de Nariño – Equipo de Respuesta Inmediata –ERI. Oficina de Terreno de la OPS/OMS en Nariño. Informe de la respuesta ante desbordamiento del río Mira. Tumaco, Nariño, 2009.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA-. OPS/OMS. Perforación manual de pozos profundos de pequeño diámetro. Colombia, 2004.



- OPS/OMS. Captación de agua lluvia, uso y mantenimiento de filtros. El Charco, Nariño, 2009.
- OPS/OMS. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS. Escuela Móvil de Aguas y Saneamiento – EMAS. Manual de capacitación para el mejoramiento y saneamiento básico en la vivienda rural. Disponible en <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan3/034441.pdf>
- OPS/OMS. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS. Tecnologías para abastecimiento de agua en poblaciones dispersas. Disponible en http://fundacioncear.org/concurso/Tecnologias_abastecimiento.pdf
- OPS/OMS. Fundación Española para la Cooperación y Solidaridad Internacional. Hacia una vivienda saludable, para estar como queremos. Manual para el agente comunitario adaptado a pueblos afrocolombianos. Colombia, 2009
- OPS/OMS Hacia una vivienda saludable. Que viva mi hogar. Manual para el agente comunitario. Bogotá. Colombia. 1ª Edición, 2003.
- OPS/OMS. Orozco Juan Guillermo, Aguilar P. Crónicas de desastres, terremoto de Aiquile. Cochabamba, Bolivia 1998. Quito, Ecuador, 2000.
- OXFAM. Agua Segura Para Todos y Todas. Colombia, 2010.
- Van Dijk, J.C.; Oomen, J. Filtración lenta en arena para abastecimiento público de agua en países en desarrollo. IRC/OMS/CEPIS. Serie Documentos Técnicos No. 11 (1978). Capítulo 5. Disponible en <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo5.pdf>

