Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

¿Cómo hacer un Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) en mi escuela?

MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

IMTA
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

631.7 Téllez Quintanar, Cecilia
T75 ***¿Cómo hacer un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) en mi escuela?*** / Cecilia Téllez Quintanar, Roberta Karinne Mocva Kurek, Cecilia González Correa y Juan Carlos Centeno Álvarez. -- Jiutepec, Mor. : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, ©2022.
46 p.

ISBN 978- (obra impresa)
ISBN 978- (obra digital)

1. Captación de precipitaciones 2. Manuales

¿CÓMO HACER UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (SCALL) EN MI ESCUELA?
Cecilia Téllez Quintanar, Roberta Karinne Mocva Kurek, Cecilia González Correa, Juan Carlos Centeno Álvarez

D.R. © 2022 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso,
62550 Jiutepec, Mor., México
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Coordinador Editorial: Adrian Pedrozo Acuña
Editor: Roberta Karinne Mocva Kurek
Cuidado de la edición: Emilio García Díaz
Revisión académica: Laurent Guillaume Courty
Diseño editorial y formación: Adolfo Remigio Armillas
WebMaster: Claudia Patricia Martínez Salgado

Se agradece a Roberto Alejandro Real Rangel por su participación en la elaboración de las tablas de estimación de la precipitación y a Arturo Lopez Zuñiga por la elaboración de los planos tipo.

https://doi.org/10.24850/b-imta-2022-06

ISBN: 978-607-8629-31-2

Septiembre 2022, Jiutepec, Morelos

Hecho en México / Made in Mexico

Queda prohibido su uso para fines distintos al desarrollo social.

Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra, sin fines de lucro y citando la fuente.

¿Cómo hacer un Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) en mi escuela?

Coordinador Editorial:
Adrian Pedrozo Acuña

Editor:
Roberta Karinne Mocva Kurek

Autores:
Cecilia Téllez Quintanar, Roberta Karinne Mocva Kurek,
Cecilia González Correa, Juan Carlos Centeno Álvarez

MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

IMTA
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

Índice

Presentación **5**

Objetivo **5**

1. Introducción a la captación de agua de lluvia **6**

1.1.¿Por qué captar el agua de lluvia? **6**

1.2. ¿Cuáles son las ventajas de captar el agua de lluvia en escuelas? **6**

1.3. ¿Cuáles son las limitantes de captar agua de lluvia? **7**

1.4. ¿Cómo se distribuye la lluvia en el país? **7**

1.5. ¿Para qué se puede usar el agua de lluvia en escuelas? **8**

1.5.1. ¿Es necesario tratar el agua de lluvia? **9**

1.5.2. ¿Se puede tomar el agua de lluvia? **9**

2. ¿Qué es un SCALL? **10**

2.1. ¿Cómo funciona un SCALL? **10**

3. ¿Qué se debe considerar para diseñar un SCALL? **11**

3.1. ¿Cuáles son las superficies disponibles para la captación? **11**

3.1.1. ¿Qué criterios considerar para seleccionar las superficies disponibles? **11**

3.2. ¿Cómo llueve en la región de la escuela? **12**

3.3. ¿Cuál será el uso del agua de lluvia? **13**

3.3.1. ¿Cuántos litros de agua se necesitan para cubrir las necesidades diarias? **14**

3.4. ¿El terreno es apto para la instalación de cisternas? **16**

4. ¿Cómo dimensionar y construir un SCALL? **18**

4.1. Cuál es el volumen de agua que será captado? **18**

4.2. ¿En qué consiste el sistema de recolección y conducción de agua? **21**

4.2.1. ¿Cómo dimensionar las bajadas de agua? **22**

4.2.2. ¿Cómo dimensionar las canaletas? **23**

4.2.3. ¿Qué materiales y herramientas se necesitan para la instalación? **25**

4.2.4. ¿Cómo instalar el sistema de canaletas y tuberías de conducción del agua? **25**

4.3. ¿Qué tipos de sistemas de filtración de hojas se puede utilizar? **25**

4.3.1. ¿Cómo construir e instalar un filtro de hojas? **26**

4.3.2. ¿Cuáles son los materiales y herramientas necesarias para instalar un filtro de hojas? **26**

4.4. ¿Qué es y cómo dimensionar el sistema de eliminación de primeras lluvias? **26**

4.4.1. ¿Cuál es el volumen de agua que se debe eliminar? **26**

4.4.2. ¿Cómo se puede hacer el desvío de las primeras lluvias? **27**

4.4.3. ¿Qué materiales y herramientas se necesitan para instalar el sistema de eliminación de primeras lluvias? **28**

4.4.4. ¿Cómo instalar el sistema de eliminación de primeras lluvias? **28**

4.5. ¿Cómo almacenar el agua de lluvia captada? **29**

4.5.1. ¿Dónde se puede instalar la cisterna? **29**

4.5.2. ¿Cómo obtener el volumen óptimo de la cisterna? **30**

4.5.3. ¿Cuáles son las dimensiones de la cisterna? **35**

4.5.4. ¿Cómo se dimensiona una cisterna tipo capuchino? **36**

4.5.5. ¿Qué materiales y herramientas se necesitan para construir una cisterna tipo capuchino? **37**

4.5.6. ¿Cómo construir una cisterna tipo capuchino? **38**

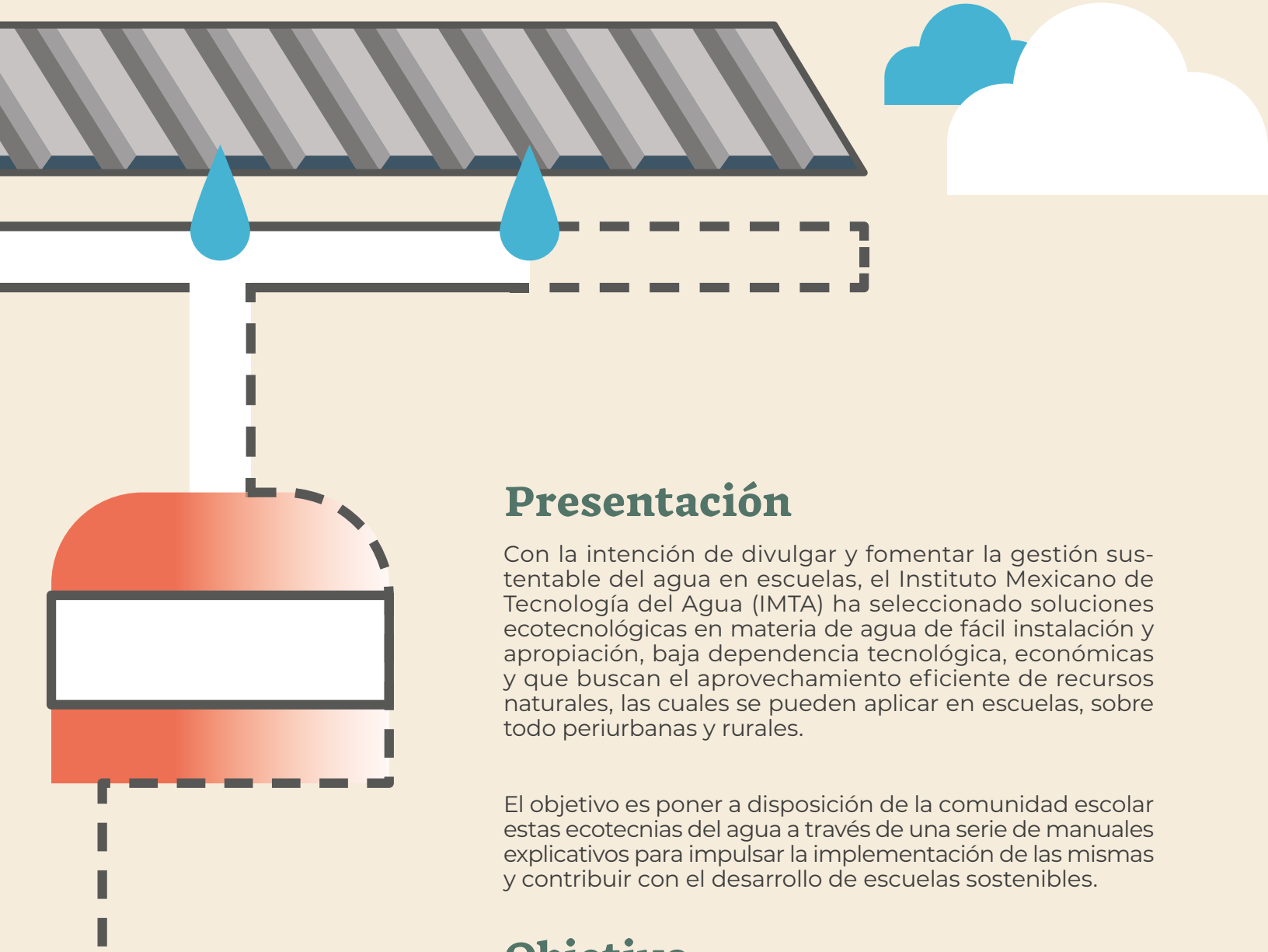
5. Recomendaciones para la operación y mantenimiento del SCALL **44**

5.1. Mantenimiento del SCALL **44**

5.2. Recomendaciones generales **45**

6. ANEXOS **46**

Bibliografía **46**



Presentación

Con la intención de divulgar y fomentar la gestión sustentable del agua en escuelas, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) ha seleccionado soluciones ecotecnológicas en materia de agua de fácil instalación y apropiación, baja dependencia tecnológica, económicas y que buscan el aprovechamiento eficiente de recursos naturales, las cuales se pueden aplicar en escuelas, sobre todo periurbanas y rurales.

El objetivo es poner a disposición de la comunidad escolar estas ecotecnias del agua a través de una serie de manuales explicativos para impulsar la implementación de las mismas y contribuir con el desarrollo de escuelas sostenibles.

Objetivo

Este manual proporciona el procedimiento paso a paso, listados de las herramientas y los materiales necesarios para el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) con cisterna tipo capuchino y su implementación en escuelas.

1. Introducción a la captación de agua de lluvia

La captación de agua de lluvia tiene como objetivo recuperar y aprovechar el agua de lluvia que escurre por superficies impermeables (como los techos de las construcciones), aprovechando la infraestructura existente. Es una práctica que se adapta a las zonas urbanas, periurbanas y rurales.

Antes de llevar a cabo el diseño y la implementación de un SCALL, resulta relevante reconocer la importancia y valor de recolectar agua de lluvia, así como conocer cómo se distribuye la lluvia en el país y los usos posibles del agua de lluvia en una escuela.

1.1.¿Por qué captar el agua de lluvia?

La captación de agua de lluvia contribuye a preservar el medio ambiente, es un medio por el cual se puede obtener agua para diversos usos a bajo costo.

Esta práctica permite complementar la dotación de agua y, en zonas vulnerables, incrementa el acceso a la misma, ya sea porque no se cuenta con el servicio de abastecimiento de agua o este es intermitente.

1.2. ¿Cuáles son las ventajas de captar el agua de lluvia en escuelas?

Además

- Es un recurso gratuito
- No requiere conectarse a la red de agua porque es un sistema independiente de distribución de agua
- Aprovecha la infraestructura de la escuela
- El sistema de captación es fácil de construir
- Se puede usar mano de obra de la comunidad escolar y materiales locales para su construcción
- Requiere un bajo mantenimiento y es sencillo de operar

Si se cuenta con acceso al agua

- Se reducen los costos por consumo de agua del servicio local
- Se reduce el uso de agua potable en actividades que no la necesitan
- Oportunidad de acceso al agua cuando el sistema de abastecimiento falle
- Contribuye a la preservación del planeta, ya que ayuda a reducir la sobreexplotación de recursos hídricos

Si en la comunidad no hay servicio de agua o si este presenta fallas

- Oportunidad de acceso al recurso
- Evita el uso de pipas o acarreo
- Mejora las condiciones de higiene
- El agua de lluvia puede presentar mejor calidad que la de pozos que puedan estar cerca
- No requiere tiempo de espera a que se instale el servicio de agua, no se detiene el desarrollo en la localidad

1.3. ¿Cuáles son las limitantes de captar agua de lluvia?

Puntos a considerar que podrían limitar la implementación de un SCALL en escuelas:

- Necesidad de una inversión inicial:
  - Contar con presupuesto suficiente para la compra de herramientas y materiales necesarios.
  - Contar con la disposición de un grupo de personas o presupuesto para la contratación de mano de obra.
- Disponibilidad de espacios:
  - Tener suficiente espacio en la escuela y que este sea adecuado para instalar todos los componentes del sistema, sobre todo para el sistema de almacenamiento del agua (cisterna).
- Distribución de la precipitación:
  - Que las lluvias en la zona de la escuela sean suficientes, ya que la cantidad de agua captada dependerá de la precipitación en el lugar y del área de captación.

1.4. ¿Cómo se distribuye la lluvia en el país?

La lluvia se presenta de manera y cantidad diferente a lo largo y ancho del país, como se observa en la Figura 1.1, que muestra la distribución anual de la precipitación. Por lo tanto, no en todas las regiones del país vale la pena invertir en un sistema de captación de agua de lluvia.

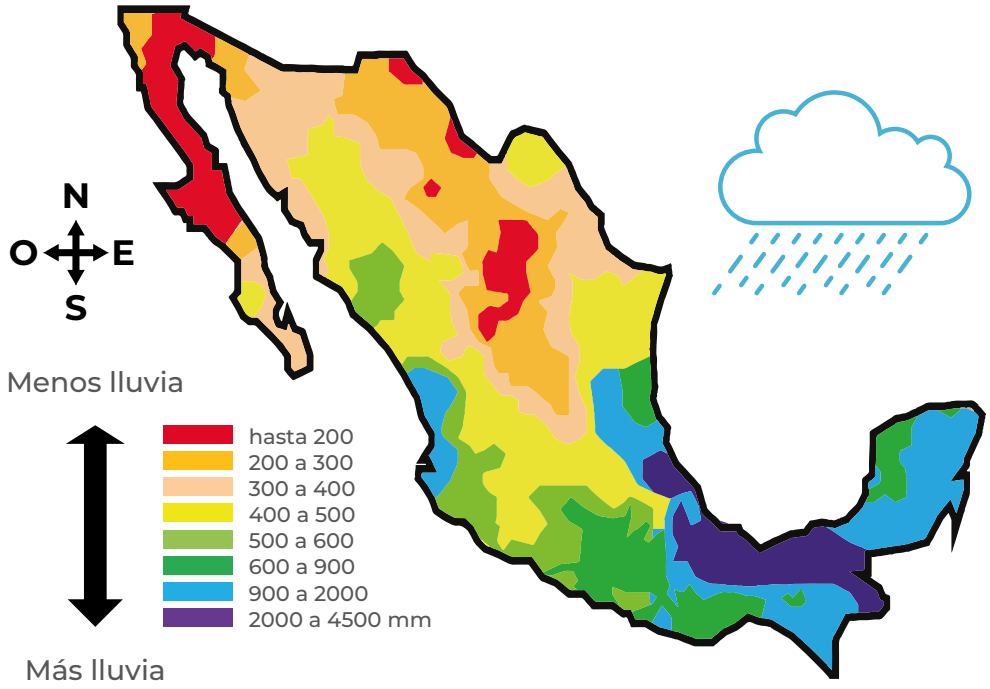


Figura 1.1: *Distribución anual de la lluvia en México.*
Fuente: Observatorio Hidrológico del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (OH-IIUNAM).

La lluvia se mide en milímetros (mm), por lo que en la figura anterior se observa el volumen de lluvia indicado en esta unidad, representado mediante una escala de colores.

En general, los mayores volúmenes de lluvia ocurren en la porción sur del país, en los estados de Tabasco, Chiapas, Oaxaca y Veracruz; mientras que los menores se observan en el norte.

Según los datos de las normales climatológicas [1] del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), la precipitación normal promedio del país es de 740 mm anuales. [2]

Como vimos anteriormente, la lluvia se distribuye de distinta manera en el país, y este comportamiento depende de distintos factores, además de la ubicación geográfica, por ejemplo:

Temporadas del año

- Primavera,
- Verano,
- Otoño,
- Invierno.

Relieve

- Montaña,
- Valle,
- Depresión,
- Colina,
- Llanura,
- Meseta

Regiones naturales

- Bosque,
- Selva,
- Desierto,
- Estepa.

Eventos hidrometeorológicos que actúan en la zona

- Ciclones tropicales,
- Lluvias extremas,
- Tormentas de granizo,
- Tormentas eléctricas,
- Ondas calidad o gélidas,
- Frentes fríos.

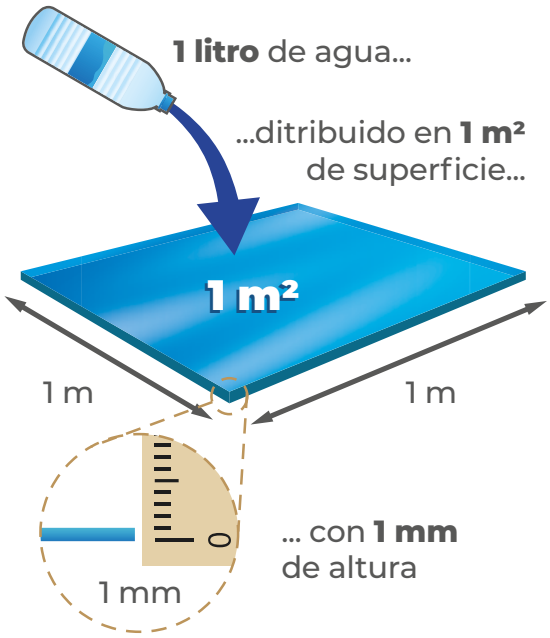
1. Normal climatológica: promedio calculado de un periodo uniforme con al menos 30 años de registro de información.

2. Para el periodo 1981-2010.

¿Cómo se mide la lluvia?

La lluvia se mide en milímetros, lo cual equivale a 1 l/m².

1 mm de lluvia equivale a:



Por estas condiciones, la temporada de lluvias en la mayor parte del país ocurre en el periodo del verano, sin embargo, en el noroeste, por lo general, los meses más lluviosos se presentan durante el invierno.

1.5. ¿Para qué se puede usar el agua de lluvia en escuelas?

El presente manual se enfoca en el uso y aprovechamiento del agua de lluvia en escuelas periurbanas y rurales, los cuales pueden aplicarse a:

- Descargas sanitarias
- Limpieza de instalaciones (pisos, salones, etc.)
- Riego de las áreas verdes, jardines y huertos.

Por lo general, se recomienda utilizar el agua de lluvia para actividades que no requieren la calidad de agua potable.

1.5.1. ¿Es necesario tratar el agua de lluvia?

El agua de lluvia transporta contaminantes, por lo que hay que poner atención a la calidad de esta. El tipo de tratamiento dependerá del uso que se vaya a dar al agua de lluvia y la calidad del agua que se requiera para el mismo.

Se recomienda siempre aplicar un pretratamiento en el trayecto de conducción entre la captación y el almacenamiento del agua de lluvia, compuesto de dos procesos:

1. Sistema de filtración (filtro de hojas). Su objetivo es quitar basura, ramas, hojas grandes u otros materiales que puedan obstruir las tuberías.
2. Sistema de eliminación de primeras lluvias. Su propósito es mejorar la calidad del agua que se almacenará.

1.5.2. ¿Se puede tomar el agua de lluvia?

No se puede beber el agua de lluvia directamente, es decir, solo con la aplicación del pretratamiento, porque, aunque el agua de lluvia parezca limpia, no es potable.

Para el consumo humano se requiere aplicar tratamientos especializados de potabilización.

Esto también aplica para actividades de contacto directo con el agua, por ejemplo, para el aseo personal y lavado de trastes.

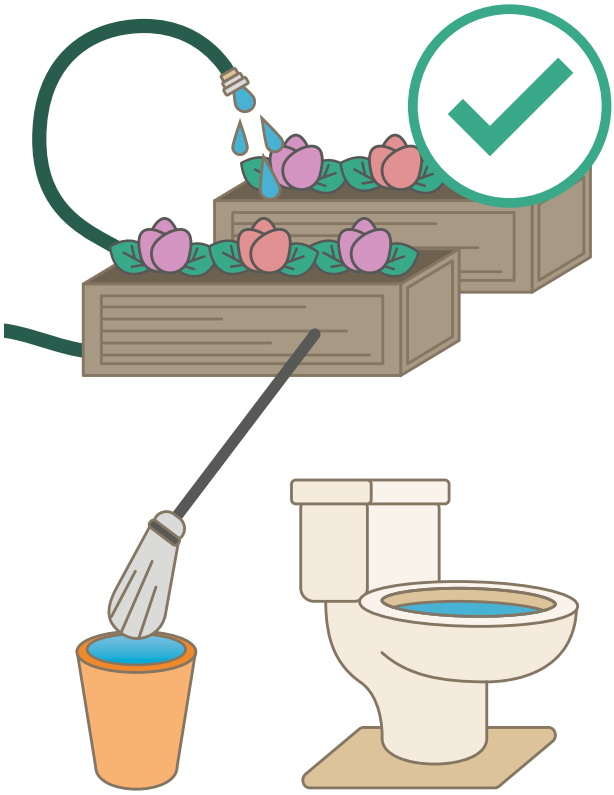


Figura 1.2: *Principales usos del agua de lluvia en escuelas*

2. ¿Qué es un SCALL?

Es un sistema de captación de agua de lluvia, llamado SCALL por sus siglas, que recolecta, conduce y almacena el agua de lluvia a través de una serie de componentes para su posterior aprovechamiento.

En la Figura 2.1 se observa un ejemplo de SCALL para una escuela.

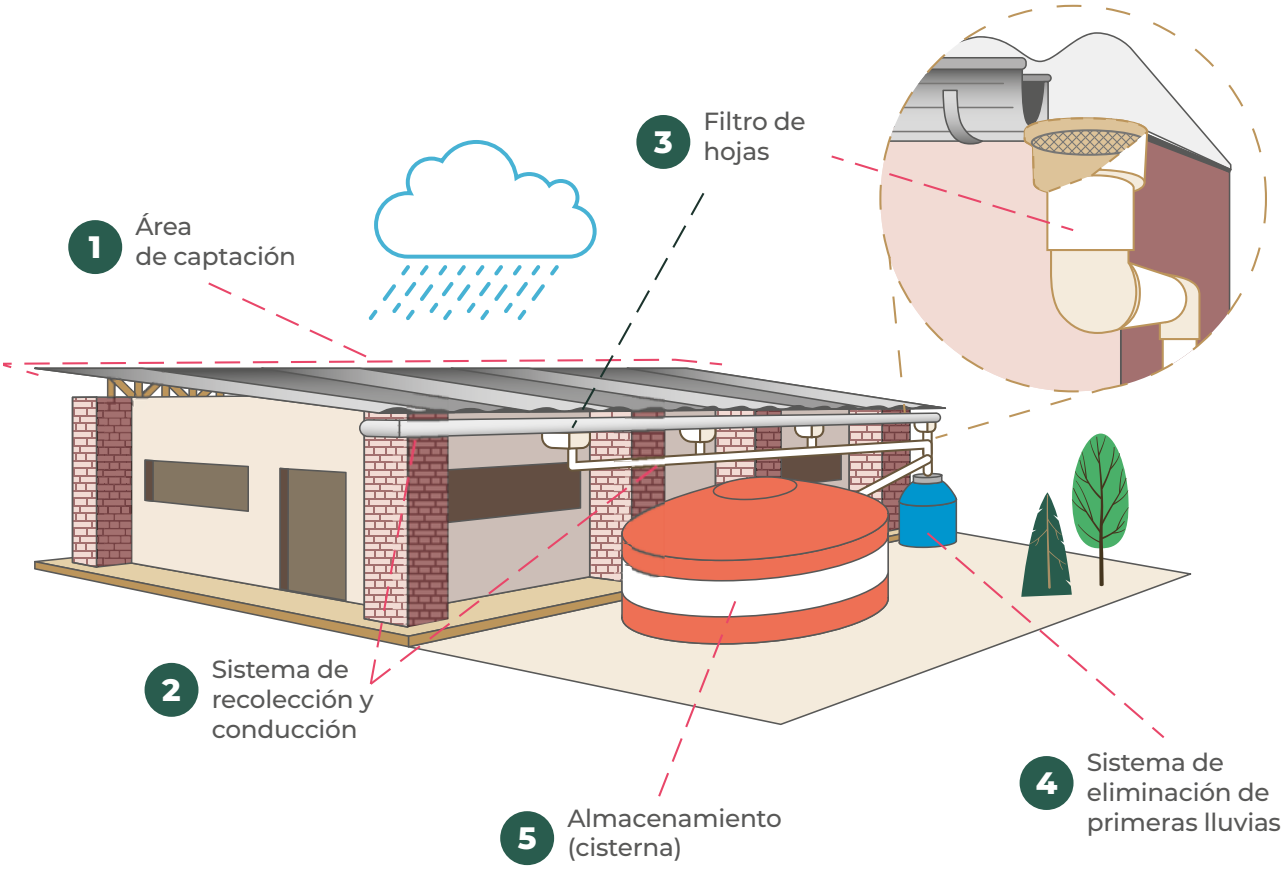


Figura 2.1: *Sistema de captación de agua de lluvia (SCALL)*

2.1. ¿Cómo funciona un SCALL?

El SCALL inicia su proceso en los techos, donde el agua que escurre en ellos desciende hacia canaletas y tuberías que la concentran en un punto, ya sea para eliminarla o almacenarla. Para ello se deben implementar diversos componentes que permitan conducir el agua, eliminar materiales que puedan tapar las tuberías, desechar el agua de las primeras lluvias y llevarla a un almacenamiento.

De esta manera, los elementos que conforman un SCALL son los siguientes:

1. Área de captación
2. Sistema de recolección y conducción
3. Filtro de hojas u otro sistema de filtración
4. Sistema de eliminación de primeras lluvias
5. Almacenamiento (cisterna)

Cada uno de estos elementos se puede observar en la Figura 2.1

3. ¿Qué se debe considerar para diseñar un SCALL?

Antes de dimensionar e instalar cualquier componente del SCALL se debe llevar a cabo un reconocimiento general del sitio o sitios donde podría instalarse el sistema, así como identificar la precipitación promedio mensual de la localidad y definir el uso que se le dará al agua de lluvia.

En la identificación de los sitios potenciales para instalación de los componentes del SCALL se debe verificar que ellos no queden muy lejos unos de otros y que se tenga acceso fácil para la operación y mantenimiento del sistema.

Resumen de los datos necesarios para iniciar el diseño del SCALL:

- Características del sitio:
  - Área disponible para la captación
  - Tipo de material del área de captación
  - Área disponible para instalación de los componentes: sistema de eliminación de primeras lluvias y almacenamiento (cisterna)
  - Análisis del área disponible para la instalación del sistema de almacenamiento y del tipo de suelo de la misma
- Precipitación promedio mensual en la localidad
- Definición del uso del agua de lluvia captada

A continuación se detallan algunos de los puntos mencionados.

Como guía, a partir de este punto, todas las etapas necesarias para el dimensionamiento de un SCALL en escuelas se ejemplificarán mediante su aplicación a una escuela modelo.

Ejemplo – Características de la escuela modelo

Escuela primaria rural
Ubicación = Localidad: Progreso, Municipio: Jiutepec, Morelos
Número de alumnos, docentes y personal de apoyo = 100 personas
Infraestructura = 1 edificio

3.1. ¿Cuáles son las superficies disponibles para la captación?

Al realizar un recorrido por el sitio de la escuela, se deben identificar y ubicar todos los techos que existan. Casi todas las superficies de los techos de la escuela pueden ser aprovechadas para captar el agua de lluvia, es decir, como área de captación. Se debe verificar el área del techo y el material del que está recubierto (p. ej.: concreto, lamina, fibrocemento), hacia qué punto o lado escurre el agua de lluvia, qué forma tiene el techo (p. ej.: número de aguas), si existen canaletas o tuberías de bajada de agua pluvial y hacia donde conducen el agua de lluvia.

3.1.1. ¿Qué criterios considerar para seleccionar las superficies disponibles?

Inicialmente se consideran los techos de los edificios, y esto resulta útil para aprovechar el agua, ya que puede ir escurriendo hasta el sitio de la cisterna y, en algunos casos, se puede almacenar antes de llegar a nivel del terreno, para también aprovechar esta caída de agua.

Es recomendable que los componentes del SCALL, área de captación y cisterna, queden cerca unos de otros, por lo que debemos verificar hacia qué punto se puede llevar el agua y en qué sitio se colocará la cisterna para definir el techo que se aprovechará.

Es importante considerar que no se recomienda utilizar techos de asbesto-cemento o de cartón con chapopote, porque contienen contaminantes que pueden liberarse al agua, así como la suciedad que se genera por el deterioro.

Ejemplo
Paso 1 - Caracterización del sitio y área de captación

Área de captación seleccionada:
Dimensión del techo = 20 m x 21 m (420 m²)
Material del techo = concreto
Forma del techo = 1 agua
Existencia de canaletas y tuberías de bajada de agua = no
Área disponible para la cisterna = 25 m x 25 m (625 m²)

3.2. ¿Cómo llueve en la región de la escuela?

Como se mencionó anteriormente (subtema 1.4), llueve de manera diferente en cada región del país. Un factor muy importante y determinante para diseñar un SCALL es conocer cómo llueve en la región de la escuela cada mes del año.

Para el monitoreo de las lluvias se instalan estaciones meteorológicas o climatológicas. En ellas se mide la lluvia en una localidad con diferentes frecuencias: diaria, horaria o inferior (minutos). Con los datos que estas arrojan se puede saber cuánto llovió los años pasados y obtener un promedio de lo que llueve en una localidad dada en un año y en cada mes.

Con el objetivo de facilitar el acceso a esta información para el diseño de un SCALL se generaron tablas de consulta de la precipitación promedio estimada para diversas localidades, las cuales se pueden consultar en el anexo 1.

Las tablas que se proporcionan son como la que se muestra en la Figura 3.1 y están separadas por estado. Se debe buscar la localidad de la escuela en la tabla del estado correspondiente para obtener los datos de la precipitación promedio de cada mes.

MEDIO AMBIENTE | IMTA

Estado:	Morelos									
		Precipitación media estimada (mm)								
Municipio	Localidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Jiutepec	Progreso	8.43	2.40	5.66	11.62	66.81	225.35	200.38	225.09	230.12
Jiutepec	Independencia	8.50	2.89	5.82	14.34	70.67	219.63	206.95	224.48	237.06
Jiutepec	Fraccionamiento Club de Golf Hacienda San Gaspar	8.43	2.40	5.66	11.62	66.81	225.35	200.38	225.09	230.12
Jiutepec	Colonia el Naranjo	8.43	2.40	5.66	11.62	66.81	225.35	200.38	225.09	230.12
Jiutepec	San Francisco del Rincón	8.50	2.89	5.82	14.34	70.67	219.63	206.95	224.48	237.06
Jiutepec	Ampliación las Fuentes	8.43	2.40	5.66	11.62	66.81	225.35	200.38	225.09	230.12
Jiutepec	Colonia Agua Fría	8.43	2.40	5.66	11.62	66.81	225.35	200.38	225.09	230.12

Figura 3.1: *Fragmento de la tabla de consulta de datos de precipitación del anexo 1.*

Ejemplo
Paso 2 - Precipitación promedio mensual de la localidad

Como ejemplo, a partir de los datos de las tablas de consulta de la precipitación promedio estimada por localidad, disponible en el anexo 1, se genera una tabla con los datos para la localidad de la escuela:

Tabla 3.1: *Precipitación promedio mensual de la localidad del ejemplo (escuela modelo)*

PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL (mm)												
Localidad: Progreso, Jiutepec, Morelos												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio mensual (mm)	8.43	2.40	5.66	11.62	66.81	225.35	200.38	225.09	230.12	77.49	11.73	1.85

Para llevar a cabo un análisis más preciso y a detalle de la precipitación promedio mensual, se recomienda consultar un especialista quien se encargará de obtener los datos históricos de precipitación (más de 15 años) de la estación meteorológica característica de la localidad de la escuela y procesar en una tabla la información directa a través de métodos estadísticos recomendables.

Otra alternativa es utilizar los datos de las normales climatológicas proporcionadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN)[3] de la estación correspondiente para extraer los valores promedio de precipitación mensual. Sin embargo, es importante señalar que no todas las localidades cuentan con información, en cuyos casos se aplican métodos estadísticos recomendables para análisis hidrológicos de estaciones cercanas.

3.3. ¿Cuál será el uso del agua de lluvia?

Considerando los usos recomendables del agua de lluvia y las necesidades de agua de una escuela, se debe definir qué uso se le dará a esta agua, es decir, en qué actividades se va aprovechar el agua de lluvia. Posteriormente, resulta útil calcular la cantidad aproximada de agua que se requiere. Esta etapa es importante para definir el tamaño de la cisterna que se requerirá para satisfacer la demanda de agua para el uso propuesto.

Ejemplo
Paso 3 - Definición del uso del agua de lluvia

En la escuela modelo, el agua de lluvia se usará para *las descargas de los excusados.* Los requerimientos de agua dependerán del número de alumnos y la cantidad de agua necesaria para el uso de los excusados.

3 https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado

3.3.1. ¿Cuántos litros de agua se necesitan para cubrir las necesidades?

Se debe calcular la demanda o necesidades de agua para el uso que se ha definido. Este manual indica cómo se hace el cálculo de la demanda de agua para la descarga de excusados, para ello se debe tener presente lo siguiente:

- Los excusados, dependiendo del tipo, utilizan diferentes cantidades de agua para la descarga, algunos de ellos cuentan con descarga dual para elegir una menor o mayor cantidad de agua. Actualmente existen sanitarios ecológicos que utilizan 4.8 litros por descarga. Por otro lado, también existen algunos que usan entre 6 y 10 litros. Se estima que en promedio los sanitarios consumen de 10 a 16 litros de agua para la descarga y los más antiguos utilizaban un volumen aún mayor.
- Para disminuir el volumen de consumo de los excusados se recomienda colocar botellas de arena o piedras dentro del tanque.

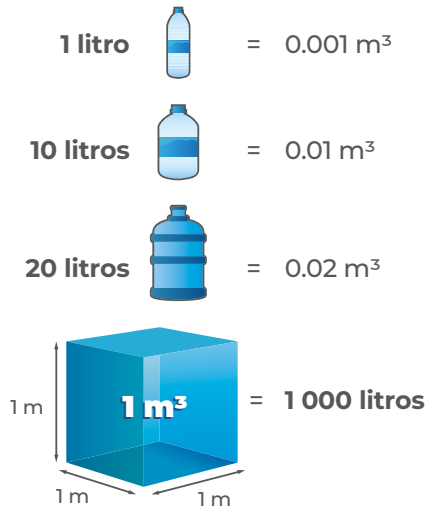
Para calcular la demanda de agua para las descargas de los sanitarios en la escuela, el primer paso es identificar cuánta agua consume un sanitario por cada descarga. Luego se debe identificar la cantidad de personas o usuarios de los baños (alumnos, personal, docentes) en los que se va a considerar el aprovechamiento del agua de lluvia.

Además, se necesita definir la frecuencia de uso del baño por cada persona y considerar un porcentaje de perdida de agua en las tuberías. Por lo general, se considera que durante el turno escolar el baño es utilizado entre dos o tres veces al día por cada persona, y se suma entre 5 y 10 % de volumen de agua por pérdidas. Se recomienda utilizar 5% de pérdidas de agua por fugas. Con estos datos se puede calcular la demanda de agua diaria en la escuela, es decir, el volumen de agua necesario para satisfacer los requerimientos diarios. De forma sencilla, se puede calcular de la siguiente manera:

¿Cómo convertir litros a m³?

Si se manejan grandes volúmenes de agua, es mejor considerarlos en metros cúbicos (m³).

Para visualizar qué tanta agua es un metro cúbico, puede convertirse a litros.



Para convertir litros a m³: **litros / 1000 = m³**

Para convertir m³ a litros: **m³ × 1000 = litros**

Ecuación 1

$$Demanda\ diaria\ total\ (m^3) = \frac{consumo\ descarga\ \times frecuencia\ uso\ \times \left(1 + \frac{\%pérdidas}{100}\right) \times número\ personas}{1000}$$

Donde:

consumo descarga = consumo de agua por la descarga del sanitario (l/uso)
frecuencia de uso por usuario = cantidad de veces que un usurario usa el baño por día
%pérdidas = porcentaje de pérdidas de agua en las tuberías (%)
número de personas = cantidad de personas que ocupan los baños por día
1000 = factor de conversión de litros a m³

Con ayuda de este valor, se procede a calcular la demanda mensual. Como es una escuela, se deben contabilizar los días que se asiste a la escuela en cada mes de acuerdo con el calendario escolar y multiplicar por la demanda diaria.

Ecuación 2

$$Demanda\ mensual\ (m^3) = Demanda\ diaria\ total\ (m^3)\ \ \mathbf{X}\ \ numero\ de\ días\ que\ se\ usa\ el\ baño\ al\ mes$$

Al final, se genera una tabla con la demanda de agua de cada mes, como se muestra en el cuadro de ejemplo.

Ejemplo
Paso 4 - Cálculo de la demanda de agua para el uso

Consideraciones:
Volumen descarga = 6 litros
Frecuencia de uso = 2 veces/persona
Número usuarios = 100 personas (ver características de la escuela modelo en pág. 11)
% de pérdidas = 5 %

1. Cálculo de demanda diaria

Si cada sanitario utiliza 6 litros de agua y es utilizado 2 veces por cada persona, sumando además 5 % de pérdidas (1+(5%/100) = 1.05), entonces, para satisfacer los requerimientos diarios de cien personas en la escuela se necesitan:

Demanda persona = 6 litros x 2 veces/persona x (1.05 de perdidas) = 12.60 litros

y para el total de cien personas, la demanda de agua diaria en la escuela será de:

Demanda diaria total = 12.6 litros x 100 personas = 1260 litros / 1000 = 1.26 m³

De manera resumida, se puede aplicar la *ecuación 1*, que dará el resultado final de demanda diaria total en m³:

$$Demanda\ diaria\ total = \frac{6\ litros\ \times \frac{2\ veces}{persona} \times \left(1 + \frac{5}{100}\right) \times 100\ personas}{1000} = 1.26\ m^3$$

2. Cálculo demanda mensual

Para el caso del ejemplo de la escuela modelo, considerando el calendario de la SEP, se determinó el número de días con clases de cada mes (Tabla 3.2).

Tabla 3.2 - *Contabilización de los días con clase por mes del ejemplo (escuela modelo)*

Contabilización de los días con clase												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Días lectivos	19	18	19	15	20	21	19	2	21	20	17	13

Cada número de días obtenido por mes se multiplica por la demanda diaria total calculada anteriormente. De esta manera, se obtiene la demanda mensual de agua para atender los requerimientos para las descargas sanitarias de la escuela.

Por ejemplo, para el mes de enero, aplicando la ecuación 2 la demanda es de:

D_a (demanda mensual) = 1.26 m³/día x 19 días con clase = 23.94 m³

Tabla 3.3: *Cálculo de la demanda de agua mensual del ejemplo (escuela modelo)*

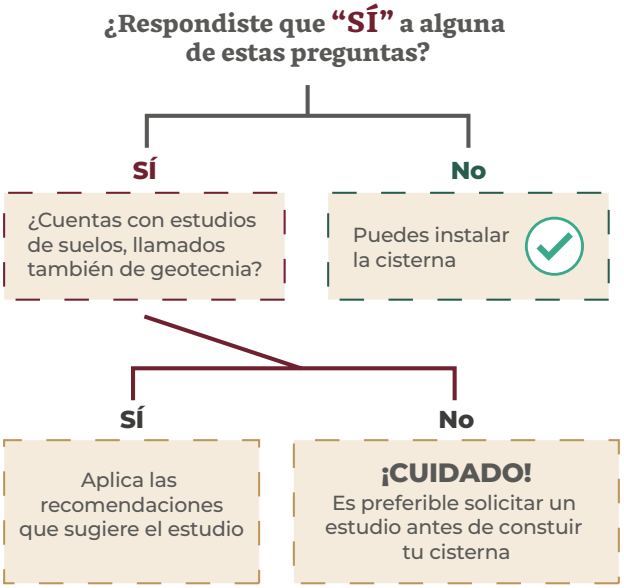
	Demanda diaria total (m³)					**1.26**							
	Cálculo de la demanda mensual												
	Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
X	Días lectivos	19	18	19	15	20	21	19	2	21	20	17	13
=	D_a (m³)	23.94	22.68	23.94	18.90	25.20	26.46	23.94	2.52	26.46	25.20	21.42	16.38

3.4. ¿El terreno es apto para la instalación de cisternas?

Antes de la implementación de un SCALL se debe revisar si el terreno disponible para la colocación de la cisterna en la escuela tiene condiciones para soportar todo su peso, sobre todo porque el agua representa un gran peso cuando se habla de grandes volúmenes (ver cuadro ¿Cuánto pesa el agua?) y eso se suma al peso de la estructura de la cisterna.

Se debe revisar lo siguiente sobre las condiciones del terreno en la escuela:

- ¿El terreno o suelo se desmorona fácilmente?
- ¿El sitio donde se quiere instalar la cisterna está cerca de una zona que pueda deslizarse o moverse?
- ¿Se observan rocas grandes que pudieran rodarse?
- ¿Se vuelve inestable el suelo al exponerse a mucha agua?
- ¿El agua de lluvia arrastra fácilmente el suelo?
- ¿El sitio está cerca de alguna cueva o caverna?
- ¿El terreno es acuoso? ¿Está en la orilla de un río o generalmente se inunda?
- ¿Se observa que el terreno se deforma, hunde o agrieta?
- ¿Se observa que en el sitio donde se quiere instalar la cisterna se colocó material como escombro?



El suelo soporta una cierta cantidad de carga (peso) antes de sufrir deformaciones o romperse (Figura 3.2). Es por ello que, si se presentan algunas de las condiciones descritas, es mejor solicitar los estudios de suelos, conocidos como estudios de geotecnia, los cuales darán la pauta para aplicar algún tipo de técnica que incremente la cantidad de carga que puede soportar el suelo.

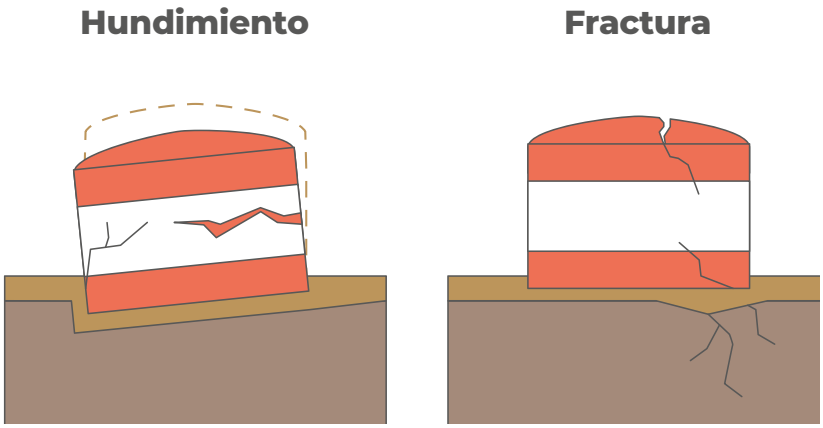
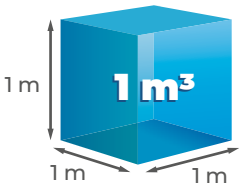


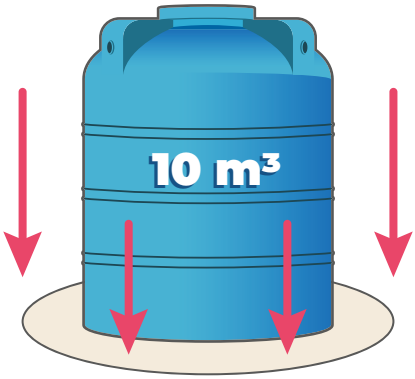
Figura 3.2: *Ejemplo de deformaciones causadas por la instalación de cisternas en terrenos no aptos.*

¿Cuánto pesa el agua?

1 litro de agua = **1 kg de peso**



= **1 000 kg de peso**
1 tonelada



=

10 mil litros de agua
10 toneladas de peso ejercidas en un circulo del terreno

Equivalente a
500 garrafones de agua de 20 litros

4. ¿Cómo dimensionar y construir un SCALL?

El diseño del SCALL está compuesto de diversas etapas. Se inicia con la determinación del volumen de captación aprovechable, y con eso ya se puede estimar de manera inicial un posible tamaño de la cisterna.

En la secuencia se hace el dimensionamiento del sistema de recolección y conducción del agua, elección del sistema de filtración de hojas y la determinación del volumen del tanque de eliminación de primeras lluvias.

El dimensionamiento de la cisterna, es decir, la definición de su volumen y sus dimensiones, depende primeramente del espacio disponible para su construcción, así como de la relación de la cantidad de agua de lluvia captada y la demanda de agua para el uso propuesto.

A continuación, se presentan los detalles para el cálculo de todas las variables necesarias y el dimensionamiento de todos los componentes de un SCALL. De manera complementaria, en el anexo 2 se presenta un diagrama esquemático de los pasos a seguir para diseñar el sistema considerando las características de la escuela, sobre todo del área disponible para la cisterna.

4.1. Cuál es el volumen de agua que será captado?

Conociendo el techo o techos que pueden ser aprovechados para la captación del agua de lluvia, se calcula el área aprovechable de estos y, posteriormente, el volumen de agua que se puede captar asociado a esta área.

Es importante saber que el área a considerar se mide de manera horizontal o plana, en otras palabras, se puede decir que se considera la huella del techo (Figura 4.1). Por ejemplo, si el techo es plano o de una agua, se calcula el área como si fuera un cuadrado (ancho x ancho) o rectángulo (largo x ancho), dependiendo del caso.

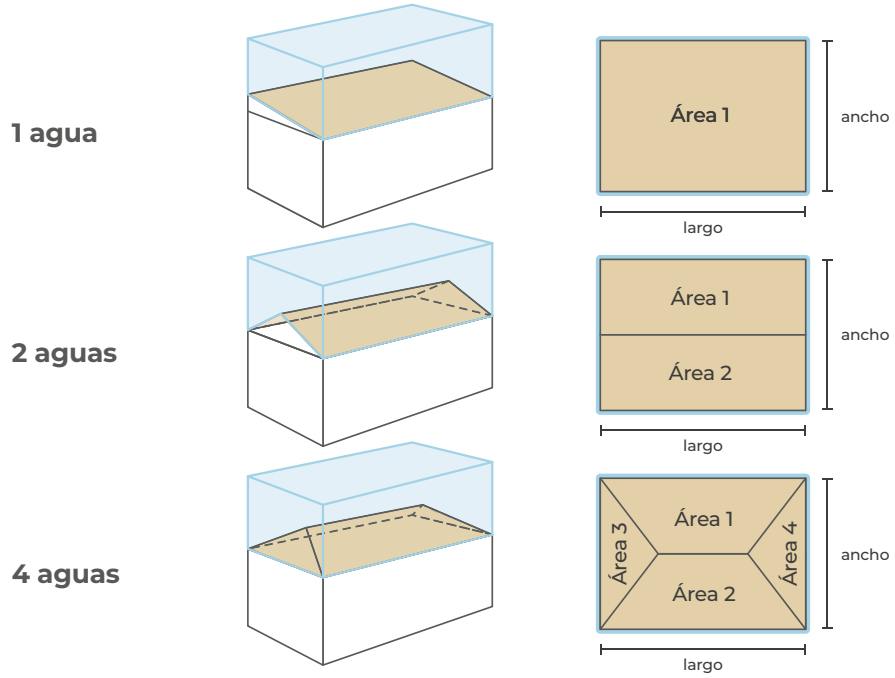


Figura 4.1: *Ejemplos de las superficies de techos para el cálculo del área de captación.*

¿Cómo calcular el área?

Área= lado x lado

Área= base x altura

Área= 3.1416 x radio x radio

Una vez que se conoce el área del techo, se calcula el volumen de agua que será captado cada mes. Para esto es necesario utilizar los datos de la precipitación promedio mensual obtenida anteriormente (subtema 3.2, ver Tabla 3.1). Además, se debe considerar un valor para el coeficiente de captación (conocido como K_c), lo cual depende del tipo de material del techo. En la Tabla 4.1 se pueden consultar estos valores y elegir el que corresponde a las características del techo de la escuela.

Tabla 4.1: *Coeficiente de captación (K_c).*

Tipo de material del techo	Valores K_c [Adimensional]
Cubiertas metálicas o plásticas (Lámina de metal, lámina de fibras de plástico)	0.95*
Techos impermeabilizados o cubiertos con materiales duros (Tejas, láminas de cartón)	0.90*
Concreto hidráulico	0.90*
Lámina corrugada	0.80*
Vidrio	0.95**
Fibrocemento	0.85**
Impermeabilizantes derivados de plástico o gravilla	0.75**

*Fuente: * NMX-AA-164-SCFI-2013. **Sedema, 2020*

Para el cálculo del volumen de captación, denominado V_c, se utiliza la siguiente expresión:

Ecuación 3

$$V_c = \frac{P \times A \times K_c}{1000}$$

Donde:

V_c = volumen de captación del mes (m^3)
P = precipitación promedio acumulada del mes (mm)
A = área del techo o superficie de captación (m^2)
K_c = coeficiente de captación de acuerdo con el material del techo (adimensional)
1000 = factor de conversión de litros a m^3

Ejemplo
Paso 5 - Cálculo del volumen de captación

Tomando en cuenta los detalles del techo de la escuela modelo, disponible para la captación (ver ejemplo paso 1):

1. Cálculo del área del techo
El área del techo es igual a:
A = 20 m x 21 m = 420 m²

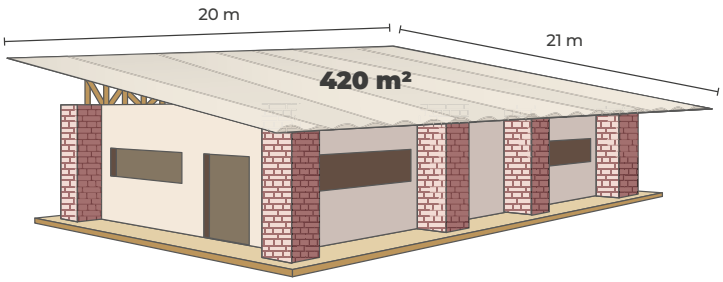


Figura 4.2: *Área del techo del ejemplo (escuela modelo)*

2. Cálculo del volumen de captación
Variables necesarias:

- A = 420 m²
- K_c = 0.90, techo de concreto (ver Tabla 4.1)
- la tabla de precipitación promedio mensual (Tabla 3.1)

Retomando la tabla de precipitación promedio mensual se agrega una fila más para integrar el volumen de captación o V_c, que se calcula usando la ecuación 3 para cada mes. Como ejemplo, para el mes de enero:

$$V_c = \frac{8.43*420*0.9}{1000} = 3.18 \text{ m}^3$$

De esta manera se conoce el V_c que se espera para cada uno de los meses. En este caso, el volumen máximo de agua de lluvia que se puede captar en el mes más lluvioso es de 86.99 m³.

Tabla 4.2: *Cálculo del volumen de captación del ejemplo (escuela modelo)*

	Precipitación promedio mensual											
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P (mm)	8.43	2.40	5.66	11.62	66.81	225.35	200.38	225.09	230.12	77.49	11.73	1.85
	Volumen de captación promedio mensual											
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
V_c (m³)	3.18	0.91	2.14	4.39	25.25	85.18	75.75	85.08	**86.99**	29.29	4.43	0.70

4.2. ¿En qué consiste el sistema de recolección y conducción de agua?

El sistema de recolección y conducción de agua está compuesto por canaletas y tuberías de bajadas de agua pluvial que conducen el agua hacia la cisterna. Se usan comúnmente canaletas y tuberías de los siguientes materiales:

- Plásticas: policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad (HDPE) o polipropileno (PP);
- Metálicas: lámina de acero galvanizado o zinc

Algunos techos de escuela ya tienen estos elementos para conducir el agua de las lluvias. Se recomienda evaluar si el sistema está bien dimensionado o si es necesario hacer algunas modificaciones para conducir todo el volumen de agua de lluvia. Otros tipos de techos, por su forma, no contemplan el uso de canaletas. Por eso es muy importante la caracterización de los techos de la escuela.

A continuación, se presenta paso a paso cómo definir la cantidad y diámetros de las canaletas y bajadas de aguas de lluvia:

1. Identificar la forma y hacia donde baja el agua del techo (escurrimientos)
2. Medir la longitud de los lados identificados donde baja el agua
3. Definir la cantidad y diámetros de las bajadas de agua
4. Definir la cantidad y diámetros de las canaletas

El primer paso es identificar hacia dónde baja el agua de lluvia del techo de la construcción. Esta condición está relacionada con la forma del techo, por ejemplo, si es de 1 o 2 aguas. Dependiendo de la forma del techo habrá diferentes inclinaciones y se identificará hacia qué lado o lados escurre el agua de lluvia (Figura 4.3).

El paso siguiente es medir la longitud de los lados identificados. En estos lados en donde escurre el agua se instalan las canaletas para recolectar el agua y concentrarla hacia un punto, y también las bajadas de agua para conducirla.

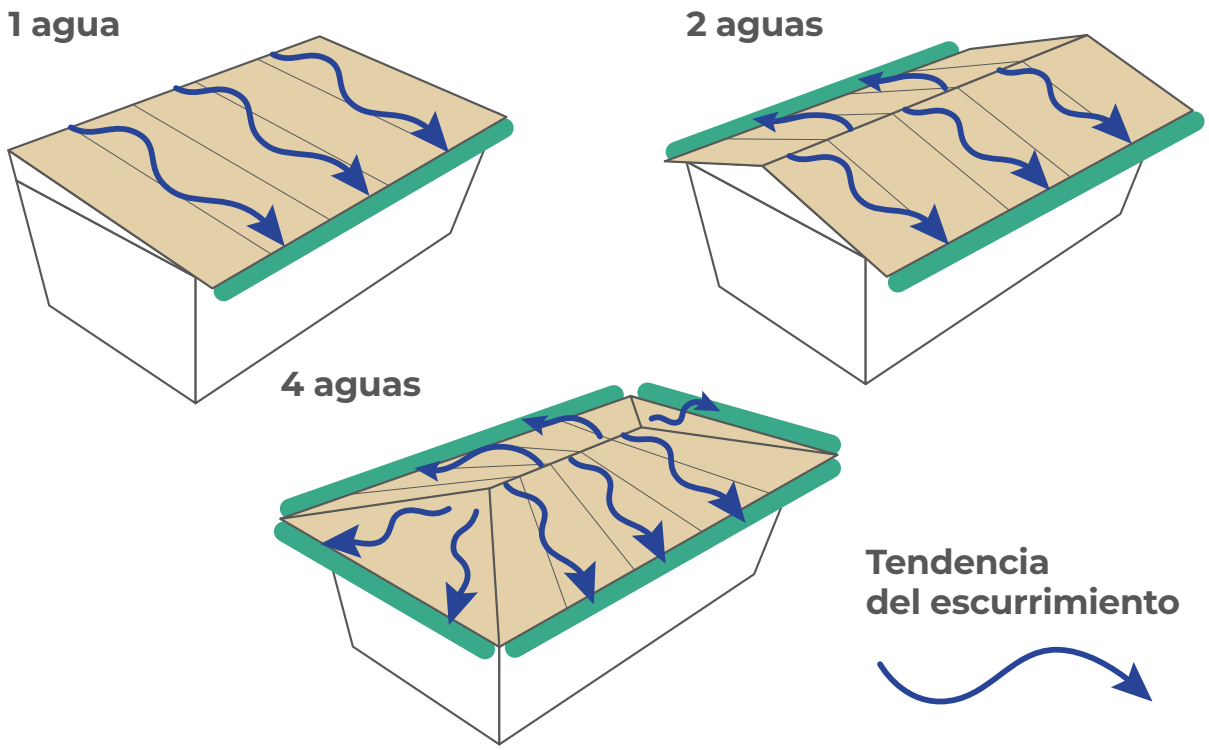


Figura 4.3: *Tendencia de escurrimiento del agua en diferentes tipos de techo*

Ejemplo
Paso 6 - Identificación y longitud del lado de los escurrimientos

Techo de la escuela modelo = 1 agua = escurrimientos en un solo lado
Longitud lado escurrimientos = 20 m
Ver detalles de las características en la Figura 4.2 (ejemplo paso 5).

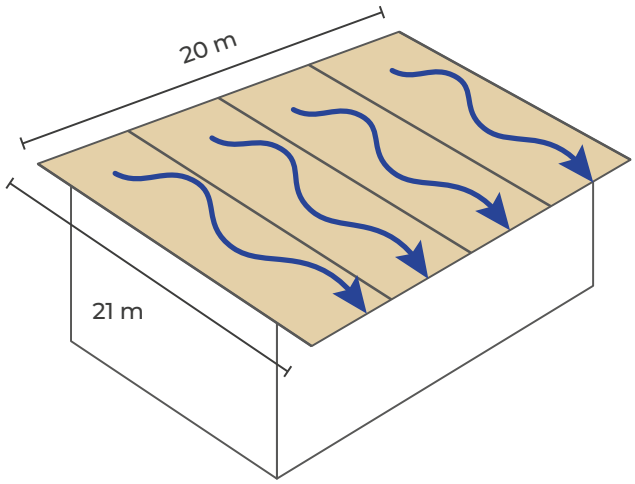


Figura 4.4: *Tendencia de escurrimiento del techo del ejemplo (escuela modelo)*

4.2.1. ¿Cómo dimensionar las bajadas de agua?

Las etapas para dimensionar las bajadas de agua son las siguientes:

- Determinar la cantidad de bajadas de agua de lluvia
- Identificar la porción del área del techo que desagua en cada bajada de agua
- Definir el diámetro de los tubos de las bajadas de agua

A partir del conocimiento de la ubicación y longitud de los lados de los escurrimientos, se calcula el número de bajadas de agua que son necesarias para drenar toda el agua hacia las tuberías de conducciones. Se recomienda instalar 1 bajada de agua a cada 5 o 6 metros de longitud, para no tener la necesidad de usar tubos con diámetros muy grandes. Por lo cual el número de bajadas de agua ($N_{bajadas}$) es dado por:

Ecuación 4

$$N_{bajadas} = \frac{Longitud}{6}$$

Una vez definido el número de bajadas de agua, se procede al cálculo de la porción del área del techo que desagua en cada una de ellas y, consecuentemente, en cada tramo de la canaleta. Así, la porción del área de cada desagüe (A_d) se obtiene por:

Ecuación 5

$$A_d\ (m^2) = Longitud_{\ tramo} \times Longitud_{lado}$$

Se recomienda un área del tubo de la bajada de agua de 0.7 cm^2 para cada 1 m^2 de la porción del área del techo que desagua en la bajada. Por lo tanto, el diámetro del tubo de la bajada de agua (D_b) se obtiene a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 6

$$D_b\ (\text{pulgadas}) = 0.368 \times \sqrt{A_d}$$

4.2.2. ¿Cómo dimensionar las canaletas?

En este paso se define la longitud y el diámetro de la canaleta. La longitud total de la canaleta será la longitud total del techo en los lados hacia donde ocurren los escurrimientos del agua.

En cuanto al diámetro, este dependerá de la porción del área del techo que descargará el agua en cada tramo de canaleta (área tributaria), que corresponde a cada bajada de agua. Es decir, la canaleta es seccionada en tramos que corresponden a cada bajada de agua.

Se recomienda utilizar un área de canaleta de 0.8 cm^2 para cada 1 m^2 de la porción del área del techo que desagua en el tramo. Considerando una canaleta abierta en forma de "U", se puede obtener el diámetro de la canaleta (D_c) con la siguiente ecuación:

Ecuación 7

$$D_c \text{ (pulgadas)} = 0.557 \times \sqrt{A_d}$$

Recordando que:

Ad = porción del área del techo de cada desagüe (m^2)

Existen otros formatos de canaletas, por ejemplo, rectangulares, trapeciales, etc. En el caso de optar por una canaleta con un formato diferente al elegido en este manual, se debe considerar que la canaleta tenga un área equivalente a la calculada, atendiendo la recomendación de 0.8 cm^2 para cada 1 m^2 del área del techo que desagua.

Para que el agua escurra se recomienda dejar como pendiente mínima 1 cm por cada 100 m de canaleta, es decir, si las canaletas tienen 6 m, se darán 6 mm de pendiente o, para fines prácticos, 1 cm de diferencia entre el punto inicial y final de la canaleta.

A continuación, se presenta una tabla con ejemplos de diámetros para canaletas (D_c) y bajada de agua (D_b) para diferentes porciones de áreas de desagüe.

Tabla 4.3: *Relación entre área de desagüe y diámetros de canaletas y bajadas de agua.*

Área (m^2)	Dc calculado (pulgadas)	Dc comercial (pulgadas)	Db calculado (pulgadas)	Db comercial (pulgadas)
50	3.939	**4**	2.602	**3**
75	4.824	**6**	3.187	**4**
115	5.973	**6**	3.946	**4**
200	7.877	**8**	5.204	**6**
320	9.964	**10**	6.583	**8**
460	11.946	**12**	7.893	**8**

Ejemplo
Paso 7 - Dimensionamiento de bajadas de agua y canaletas

1. Bajadas de agua
Utilizando la ecuación 4, se calcula el número de bajadas:

$N_{bajadas}$ = 20 m / 6 = 3.33 = 4 (por redondeo)

Si el número es decimal, se elige el próximo número entero.

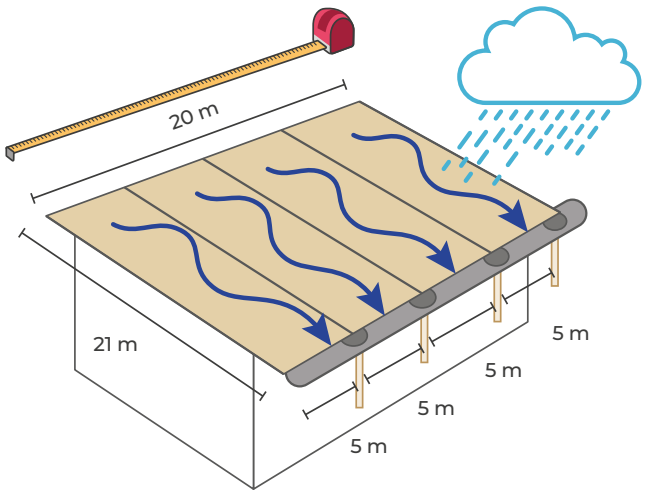


Figura 4.5: *Detalle de canaletas y bajadas de agua del ejemplo (escuela modelo).*

¿A cada cuánto se deben ubicar? Para ello se divide la longitud del techo entre el número de bajadas: 20 m / 4 = 5. Se colocará una bajada a cada 5 metros.

Utilizando la ecuación 5, la porción de área del techo que corresponde a cada bajada es igual a:

- **A_d = 5 m x 21 m = 105 m²**

Al aplicar la ecuación 6 se determina el diámetro de la tubería de cada bajada:

- **D_b=0.368 × √105 =3.77 pulgadas**

Se elige el diámetro comercial mayor inmediato (tabla 4.3), que en este caso será de 4" para cada bajada que drena un área de 105 m².

2. Canaletas
Longitud total de canaleta = 20 m (lado escurrimientos)
Considerando una canaleta en forma de "U", se utiliza la ecuación 7 para definir el diámetro:

$$D_C = 0.557 \times \sqrt{105} = 5.71\ pulgadas$$

Se debe elegir el diámetro comercial mayor inmediato, es decir, de 6" (tabla 4.3).

4.2.3. ¿Qué materiales y herramientas se necesitan para la instalación?

Herramientas sugeridas:

- Taladro
- Broca para concreto de ¼"
- Broca para metal de ¼"
- Arco con segueta
- Marro
- Desarmador plano
- Desarmador de cruz
- Flexómetro
- Cizalla
- Escalera de tijera
- Guantes de carnaza
- Lentes de seguridad

Materiales:

- Canaleta metálica del diámetro y forma seleccionados
- Soportes para canaleta (abrazaderas), también del diámetro seleccionado
- Tubo de PVC del diámetro de las bajadas de agua; la longitud de este dependerá de la trayectoria hacia donde se ubicarán los demás componentes
- Campana de ampliación/reducción del diámetro de las bajadas a un diámetro mayor
- Codos y tees de PVC según la trayectoria a recorrer
- Soportes para fijar el tubo de PVC según la trayectoria
- Pijas
- Taquetes
- Pegamento de PVC
- Lija
- Cinta de aislar o cinta teflón

4.2.4. ¿Cómo instalar el sistema de canaletas y tuberías de conducción del agua?

Las canaletas se deben colocar a la distancia calculada y se procede a la instalación de una abrazadera para fijar a cada metro. En cada sitio que se requiere colocar la abrazadera, ésta se instala haciendo orificios rellenados con taquetes y se fija con una pija. Este procedimiento se repite en cada tramo de canaleta.

En cada conexión de la canaleta al tubo de PVC de bajada de agua se debe colocar una campana de reducción/ampliación, y a partir de ahí se integran los segmentos/codos/tees de PVC para cubrir el recorrido que se necesite. Cada tramo de PVC deberá fijarse con pegamento. Se recomienda fijar los tubos de conducción a cada metro con una abrazadera atornillada a los muros.

El recorrido de las tuberías de conducción será desde las bajadas de la canaleta hasta el sitio donde se ubique el sistema de eliminación de primeras lluvias y continuará desde ahí hasta la cisterna.

4.3. ¿Qué tipos de sistemas de filtración de hojas se puede utilizar?

Para conducir el agua de lluvia que se arrastra en los techos sin hojas, ramas, basura y otros tipos de elementos (como insectos), se debe instalar un filtro de hojas u otro tipo de sistema de filtración en la conexión de la canaleta y el inicio de las tuberías de bajadas de agua.

Esta etapa es fundamental para mejorar la calidad del agua de lluvia que será almacenada y no generar algún bloqueo de las tuberías.

Los filtros se pueden acoplar de maneras muy ingeniosas. A continuación se muestran algunos ejemplos de sistemas que se pueden utilizar (Figura 4.6). Básicamente, los filtros de hoja consisten en una rejilla o malla colocada al inicio de las bajadas de agua.

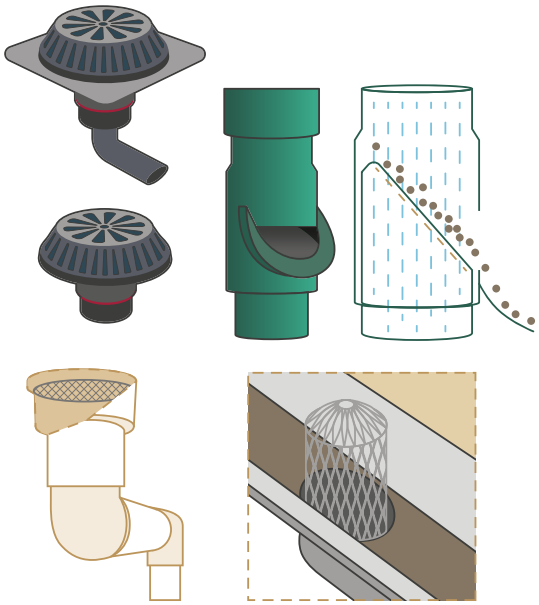


Figura 4.6: *Ejemplos de filtros de hojas.*

El filtro de hojas también resulta útil en zonas donde se presenta constantemente granizo. En estos casos se recomienda verificar que los elementos del filtro se encuentren bien sujetos y tengan la capacidad de soportar la carga del granizo. El filtro de hojas en estos casos evitará además que entren los trozos de hielo a las tuberías de conducción del agua y la colapsen o dañen.

4.3.1. ¿Cómo construir e instalar un filtro de hojas?

En este manual se propone el uso filtro de hojas con campana de reducción. Este filtro consiste en la colocación de una rejilla o malla encima de la campana de PVC.

El filtro consiste en un cuadro de malla mosquitera fijada al inicio del sistema de tuberías de PVC de bajadas de agua y antes de la caída de las canaletas. Para ello se usa una reducción de PVC y se coloca la malla en el extremo más grande de la reducción como se muestra en la Figura 4.7.

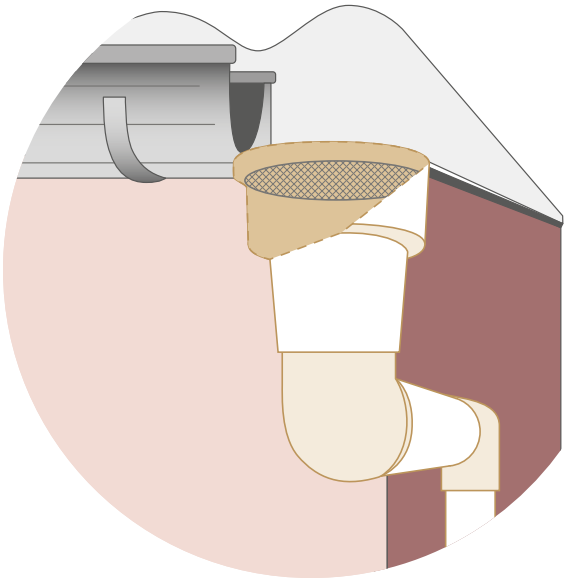


Figura 4.7: *Filtro de hojas con campana de reducción*

Sobre el material filtrante, se recomienda que la abertura de la malla sea de 500 a 300 micras. En cuanto al material, puede ser malla de acero inoxidable lavable o malla plástica de Nylon resistente a químicos y corrosión.

Para hacer una correcta instalación se coloca el cuadro de malla en el extremo del tubo y se recorta dejando excedentes en la ampliación, posteriormente se pega la malla con pegamento de PVC. Se recomienda también colocar una abrazadera fijada con tornillo para asegurar bien la malla.

4.3.2. ¿Cuáles son los materiales y herramientas necesarias para instalar un filtro de hojas?

Materiales:

- Malla mosquitera
- Abrazadera
- Tornillo
- Pegamento de PVC

4.4. ¿Qué es y cómo dimensionar el sistema de eliminación de primeras lluvias?

Dado que los techos pasan un tiempo sin presencia de lluvias, en estos se acumula basura fina, que no se puede eliminar con el filtro de hojas. Por eso es necesario que antes de almacenar el agua de lluvia se eliminen las aguas de las primeras lluvias que limpian los techos.

Por otro lado, hay sitios donde la contaminación atmosférica es muy alta, y las primeras lluvias bajan esta contaminación con ellas, por eso también resulta importante desechar estas aguas.

El sistema de eliminación de primeras lluvias, también conocido como interceptor de primeras lluvias, es instalado después del filtro de hojas y antes de llevar el agua al sistema de almacenamiento.

4.4.1. ¿Cuál es el volumen de agua que se debe eliminar?

Usualmente se recomienda eliminar entre 2 y 3.2 litros de lluvia por cada metro cuadrado de superficie de captación (techos) en las zonas urbanas, mientras que en las zonas rurales se recomienda de 0.5 a 1 litro por m^2 (Sedema, 2020). Es importante tener presente que mientras mayor sea el volumen de primeras lluvias que se elimine mejor será la calidad del agua almacenada.

El cálculo del *volumen de eliminación de primeras lluvias* ($V_{e,\ total}$) es muy sencillo, pero primeramente se define cuántos litros por cada metro cuadrado se eliminan, con base en las recomendaciones, luego se multiplica por el área del techo de captación:

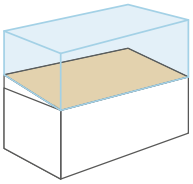
Ecuación 8

$$V_{e,\,\text{total}}\ (m^3) = \frac{A \times V_{e,m^2}}{1000}$$

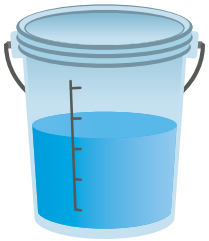
Donde:

A = área del techo o superficie de captación (m^2)
$V_{e,\,m^2}$ = cantidad de lluvia a ser eliminada por cada metro cuadrado (l/m^2)
1000 = factor de conversión de litros a m^3

Área del techo



X *0.5 o 1 litro (zona rural) o 2 o 3.2 litros (zona urbana)* ÷ *1000* = $V_{e,\,total}$ *en m^3*



El volumen de eliminación de primeras lluvias en los cálculos del ajuste del volumen de la cisterna, que se verán más adelante, se descuenta del primer mes de la temporada de lluvias.

Pero, en la práctica, cuando se presentan muchos días consecutivos sin lluvias en la localidad, se debe considerar vaciar el tanque de eliminación de las primeras lluvias y dejarlo listo para que se vuelva a llenar cuando se presenten otra vez las lluvias. Esto es debido a que en el techo se vuelve a presentar suciedad en períodos largos sin lluvia.

4.4.2. ¿Cómo se puede hacer el desvío de las primeras lluvias?

Para hacer el desvío y eliminación de las primeras lluvias se instala un tanque que capte el volumen de agua que debe ser eliminado y que no se conducirá al sistema de almacenamiento (cisterna).

Al igual que los filtros de hojas, los sistemas de eliminación de primeras lluvias se pueden construir con el material que se disponga y un poco de ingenio, como en los ejemplos que se muestran en la Figura 4.8, sobre todo si el volumen que se eliminará es pequeño. Es importante que cuenten con un sistema de cierre de entrada de agua cuando se llenen y así desvíen las aguas a la cisterna.

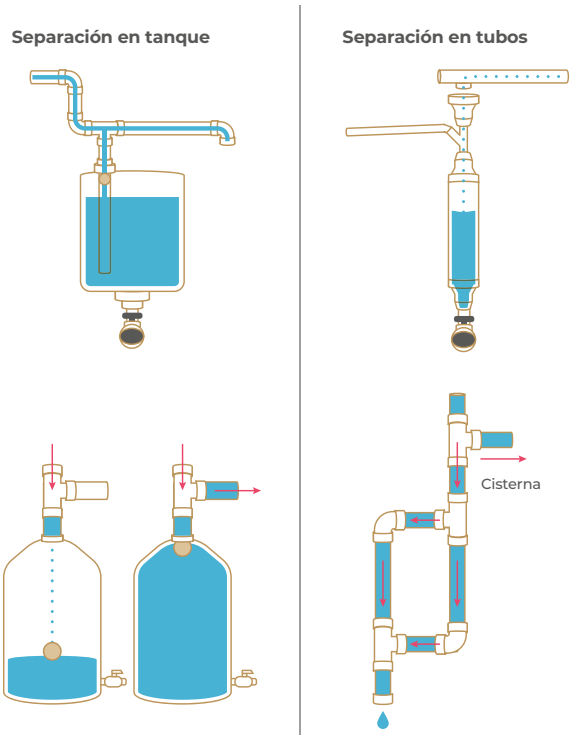


Figura 4.8: *Ejemplos de sistemas de eliminación de primeras lluvias.*

La recomendación para el sistema de eliminación en una escuela, dado que se procura captar un volumen grande, consiste en seleccionar un tanque de plástico prefabricado comercial con la capacidad más cercana al volumen de eliminación calculado.

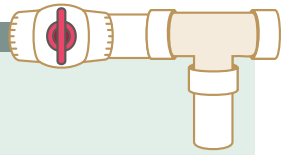
Ejemplo
Paso 8 - Volumen y sistema de eliminación de primeras lluvias

La escuela modelo es rural, por lo que se debe eliminar 1 l/m².
Entonces, aplicando la Ecuación 8:

$$V_{e,\ total} = \frac{420\ m^2\ \times 1\ l/m^2}{1000} = 0.42\ m^3\ (o\ 420\ l)$$

El tipo de sistema seleccionado es reservorio o tanque. En este ejemplo se va utilizar un tanque plástico tipo tinaco, por lo que se debe buscar la capacidad comercial más próxima al volumen calculado. En este caso, un tanque de 450 litros.

4.4.3. ¿Qué materiales y herramientas se necesitan para instalar el sistema de eliminación de primeras lluvias?



Materiales:

- Unión Tee lisa
- Adaptadores hembra y macho bola flotante u otro sistema de cierre del llenado
- Válvula de llenado
- Válvula de salida del agua o Multiconector
- Tubo de PVC
- Reservatorio o tanque, cuando sea el caso

4.4.4. ¿Cómo instalar el sistema de eliminación de primeras lluvias?

Una vez que se tiene ubicado el sitio de instalación del sistema de eliminación de primeras lluvias y se cuenta con el sistema de tuberías para la conducción del agua hasta dicho sitio, se conectan los sistemas instalando los elementos como se muestra en la Figura 4.9.

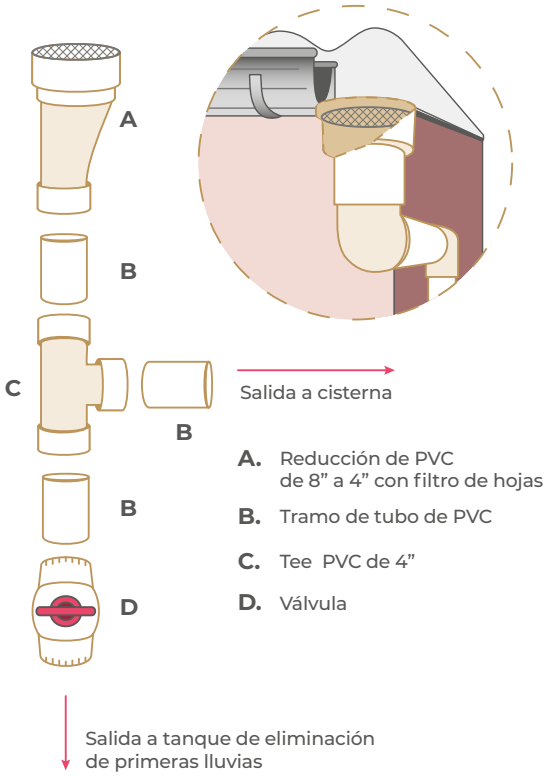


Figura 4.9: *Esquema para la conexión del sistema de eliminación de primeras lluvias*

Los procedimientos para la instalación del sistema de eliminación de primeras lluvias dependerán del sistema elegido. Sin embargo, en cualquier tipo de sistema es necesario instalar un sistema para desechar el agua, ya sea para infiltrarla o para conducirla al drenaje. Como ejemplo, se puede instalar un multiconector en la parte inferior del sistema elegido.

4.5. ¿Cómo almacenar el agua de lluvia captada?

Una vez que se han instalado los sistemas anteriores, el agua de lluvia debe ser almacenada para poder aprovecharla.

El almacenamiento se puede hacer a través de cisternas, tanques o cualquier otro tipo de sistema que permita contener el agua. La elección del mejor sistema depende del volumen de agua que se desea almacenar, de la calidad de agua deseada, de la factibilidad de instalación del mismo, de los tipos de acceso a la localidad y del presupuesto disponible.

Las cisternas pueden ser construidas de diferentes materiales como, por ejemplo, *cemento, ferrocemento, tabiques, concreto, mampostería, lámina de acero, o plástico (HDPE).* Entre los tipos de cisternas se señala la cisterna tipo capuchino, la cual será presentada en este manual más adelante.

Existen cisternas comerciales prefabricadas de plástico, así como tanques verticales, sin embargo, la capacidad de almacenamiento y la forma de hacerlas llegar a la localidad pueden ser factores limitantes. Si se decide seleccionar un sistema comercial, debe tenerse en consideración que éstos manejan su propio sistema de instalación. En el caso de los tanques verticales, se puede requerir la excavación de parte o todo el tamaño del tanque.

Requisitos de los sistemas de almacenamiento

- Los sistemas de almacenamiento deben evitar que pase la luz y que entren polvo e insectos. La luz fomenta la aparición de algas (agua con tonalidad verde) y los insectos encuentran un lugar apto para reproducirse.
- Tener suficiente resistencia estructural ante fenómenos naturales (sismos)
- Tener un dispositivo de extracción del agua por gravedad (llave de toma o sistema para la distribución del agua).
- Tener un dispositivo para eliminar el agua de excedencias con longitud suficiente para no dañar la cisterna o su cimentación. Si esta tubería queda abierta, se debe poner una malla en la extremidad para evitar el acceso de insectos.
- Tener una tapa de acceso al interior de la cisterna para su limpieza y reparaciones.
- Se recomienda tener un dispositivo para eliminar el agua durante su limpieza (desagüe).

¡Atención!
Para evitar accidentes con los alumnos, la tapa de acceso al interior de la cisterna debe de estar siempre cerrada.

Principales componentes de una cisterna:

- Tapa de acceso al interior
- Tubería de entrada del agua de lluvia
- Tubería de excedencia
- Tubería para la salida del agua (distribución)

En los siguientes subtemas se presentan los pasos a seguir para dimensionar e instalar una cisterna. Esto incluye la determinación del volumen necesario de la cisterna, enfocándose en atender la demanda de agua para el uso propuesto en la escuela durante todos los meses. Este método es el adecuado para buscar el máximo aprovechamiento del agua de lluvia en un SCALL. En este manual se presentarán los procesos constructivos para la implementación de una cisterna tipo capuchino.

4.5.1. ¿Dónde se puede instalar la cisterna?

Antes de empezar el dimensionamiento se procede a revisar la información sobre el espacio disponible para la instalación de la cisterna y las condiciones del suelo. Una vez revisadas las condiciones del suelo conforme a lo indicado en el subtema 3.4, si el suelo es apto para la instalación de la cisterna, se debe considerar lo siguiente:

- Ubicarla en un sitio cercano al techo de donde se recolectará el agua, es decir del techo, donde se drenará el agua hacia las canaletas y tuberías de bajadas de agua
- Verificar que el sitio de construcción no impida la circulación de personas o vehículos
- Revisar el diámetro o área que podría instalarse en el terreno que se tiene disponible

Nota: *La cisterna se debe apoyar en una superficie plana y nivelada, para evitar el rompimiento o movimiento de la misma.*

El espacio disponible en la escuela para la instalación de la cisterna es un factor importante para definir

el tamaño de la cisterna que se puede instalar. El tamaño óptimo de la cisterna se puede conocer probando distintos volúmenes de almacenamiento, como se verá más adelante.

Para el espacio disponible con el que se cuente, se debe considerar un espacio de maniobra entre la cisterna para su operación y mantenimiento, por lo cual se recomienda dejar aproximadamente 1 metro a cada lado de la cisterna. Si se cuenta con mucho espacio, podría considerarse ilimitado el tamaño de la cisterna.

Cuando el espacio para la cisterna sea limitado, el tamaño de la cisterna estará condicionado a este valor, por lo que se puede considerar que la cisterna sólo satisfará la demanda en unos meses o se utilizará como fuente complementaria de agua.

Es importante señalar que otra limitante del tamaño de la cisterna es la disposición de presupuesto, es decir, si el presupuesto alcanza para construir una cisterna muy grande o pequeña.

Se puede consultar en el diagrama que se presenta en el anexo 2 la ruta para dimensionar la cisterna para las diferentes situaciones del área disponible para la instalación de la misma.

Ejemplos de cómo identificar el área disponible para la cisterna

Considerando una cisterna redonda, se calcula el diámetro máximo que esta puede tener, considerando dejar 2 m de área libre para la circulación.

- **Si el área disponible es de 8 m x 8 m, el diámetro máximo de la cisterna podrá ser de 8 m – 2 m = 6 m.**

Si los lados del espacio definido tienen dimensiones diferentes, el diámetro que la cisterna puede ocupar es calculado utilizando el del lado más pequeño, por ejemplo:

- **Si se tiene un espacio de 5 m x 9 m, el diámetro máximo podrá ser de 5 m - 2 m = 3 m.**

Si se tiene un espacio de dimensiones más grandes, se recomienda hacer el cálculo del diámetro utilizando el volumen de la cisterna obtenido para las demandas que se quiere satisfacer, conforme se verá más adelante.

4.5.2. ¿Cómo obtener el volumen óptimo de la cisterna?

Existen diferentes métodos para determinar el volumen de la cisterna, desde los más sencillos hasta los más detallados, que buscan encontrar cuál sería el volumen óptimo necesario.

Para conocer el volumen óptimo de la cisterna, con el que trabajará adecuadamente el SCALL, se lleva a cabo un proceso de análisis de cómo se comportan los volúmenes de agua en la cisterna a lo largo del tiempo, en todos los meses. Este método ayuda a que no se construya una cisterna muy grande que estará llena pocas veces en el año.

Este análisis es conocido como *funcionamiento de la cisterna o sistema* y consiste en la evaluación de la relación entre el volumen de agua de lluvia captado que entra en la cisterna y las necesidades de agua para el uso propuesto en la escuela en cada mes (demanda), así como el volumen que quedará almacenado y el volumen no utilizado de manera mensual, si es el caso.

Para ello debemos considera lo siguiente:

- Un volumen inicial propuesto o deseable de la cisterna con el que se inician los cálculos, lo cual se verificará si es adecuado, si queda pequeño o queda demasiado grande. La intención es que el volumen de la cisterna quede a la medida de todo el funcionamiento. A partir del volumen máximo de agua que se puede captar en el mes más lluvioso, se tiene la propuesta inicial del volumen de la cisterna (ver subtema 4.1, Tabla 4.2).
- Las necesidades mensuales de agua durante el ciclo escolar, de acuerdo con el uso que se dará al agua de lluvia (demanda de agua mensual, definido en el subtema 3.3.1, Tabla 3.3).
- Los volúmenes de lluvia que caen en el techo y que pueden ser almacenados, es decir, el volumen de captación promedio de cada mes (ver subtema 4.1, Tabla 4.2). Para verificar si se almacena por completo o solo una porción y si todo lo que llueve permite llenar la cisterna o no.

- Antes de almacenar se debe eliminar el volumen debido a primeras lluvias (subtema 4.4.1). En el análisis del funcionamiento se eliminan las primeras lluvias en el primer mes de la temporada de lluvias.
- La cisterna se comienza a llenar (preferentemente) el mes que se presenten más lluvias en la localidad.
- El estatus o variaciones de los volúmenes en la cisterna de un mes a otro, es decir, el agua que sale para cubrir las necesidades y el agua que entre de la captación, ya sea para llenarla o para almacenar la mayor cantidad posible. A partir de este análisis, se verifica si el volumen propuesto inicial para la cisterna es suficiente o si se necesita aumentar para atender la demanda de agua o, incluso, reducirlo si sobra mucha agua almacenada.

En resumen, tomando en cuenta lo que fue calculado anteriormente: el volumen de captación máximo del mes (V_c), la demanda de agua del mes ($D_{a,m}$) y el volumen de eliminación de las primeras lluvias (V_e), se puede hacer el ajuste del volumen óptimo de la cisterna.

El objetivo de este ajuste es que no falte agua en la cisterna en ningún mes para atender la demanda de agua del próximo mes, si no es un mes lluvioso o si las lluvias son insuficientes. En otras palabras, se puede decir que se busca cubrir las necesidades de agua propuestas durante todos los meses de manera eficiente sin que falte agua durante ningún mes y sin que tampoco sobre mucha agua.

Para esto se prueban diferentes volúmenes de cisterna, hasta encontrar el volumen que más se ajusta para atender la demanda y así construir un sistema eficiente con tamaño adecuado, para no tener gastos innecesarios.

El análisis del funcionamiento de la cisterna se hace a partir de la aplicación de la siguiente ecuación para cada uno de los meses:

Ecuación 9

$$V_{a,mes} = V_{a,mes\ anterior} - D_{a,m} + V_c$$

Donde:

$V_{a,\ mes}$ = volumen de almacenamiento en la cisterna en el mes (m^3)
$V_{a,\ mes\ anterior}$ = volumen de almacenamiento en la cisterna en el mes anterior (m^3)
V_c = volumen de captación del mes (m^3)
$D_{a,\ m}$ = demanda de agua del mes (m^3)

Se debe considerar que el *volumen de almacenamiento en la cisterna* ($V_{a,\ mes}$) no puede ser superior al volumen de la cisterna, porque en este caso ocurren derrames, por lo que se aplican las siguientes condiciones para la Ecuación 9:

Ecuación 10

Si $V_{a,\ mes}$ > volumen de la cisterna ,

entonces se aplica $V_{a,\ mes}$ = volumen de la cisterna

Además, se considera un *volumen de almacenamiento en la cisterna* igual a cero cuando el volumen de almacenamiento en la cisterna calculado es menor que cero, entonces también:

Ecuación 11

$$\text{si} \quad V_{a,\,mes} < 0\,,$$

$$\text{entonces se aplica} \quad V_{a,\,mes} = 0$$

Se va ajustando el volumen de la cisterna, tomando en cuenta las siguientes notas sobre las ecuaciones anteriores:

- Si sobra mucha agua en la cisterna en todos los meses, se debe considerar reducir su volumen.
- Si hay meses en que el volumen calculado para el almacenamiento es menor que cero, se debe probar aumentar el volumen de la cisterna. Puede haber situaciones en las que no necesariamente aumentando el volumen de la cisterna se almacenará más agua, debido a la cantidad de lluvia.

Se sugiere empezar el cálculo de funcionamiento de la cisterna en el mes de inicio de la temporada de lluvias. En el primer mes del cálculo del funcionamiento el *volumen de almacenamiento en la cisterna en el mes anterior* ($V_{a,mes}$) será igual a 0.

¡Atención!
En el primer mes con mayor cantidad de lluvias se debe considerar el *volumen de eliminación de las primeras lluvias*, por lo que al inicio de los cálculos el primer valor de $V_{a,mes}$ se calcula de manera diferente:

Ecuación 12

$$V_{a,mes} = V_{a,mes\ anterior} - V_e + V_c - D_{a,m}$$

Donde:

V_e = volumen de eliminación de primeras lluvias (m^3)

Observación:
En las regiones que presentan lluvias durante todos los meses del año se debe considerar la eliminación de las primeras lluvias en el mes donde hay el mayor período consecutivo sin lluvias.

Para entender cómo realizar este análisis del funcionamiento de la cisterna, se sugiere verificar el ejemplo de aplicación que se presenta en el cuadro que sigue.

Con fines de apoyo, en los anexos 3 y 4 se pone a disposición una tabla esquemática para realizar paso a paso los cálculos de manera esquemática y, también, un modelo de tabla para realizar los mismos de manera analítica. Las ecuaciones fueron convertidas en forma de preguntas, donde se va contestando cada una con los valores correspondientes previamente calculados o calculados en el momento, haciendo referencia a las ecuaciones 9, 10, 11 y 12.

En la Figura 4.10, se presentan los detalles para el uso de la tabla esquemática (anexo 3), la cual será utilizada en el cuadro de ejemplo.

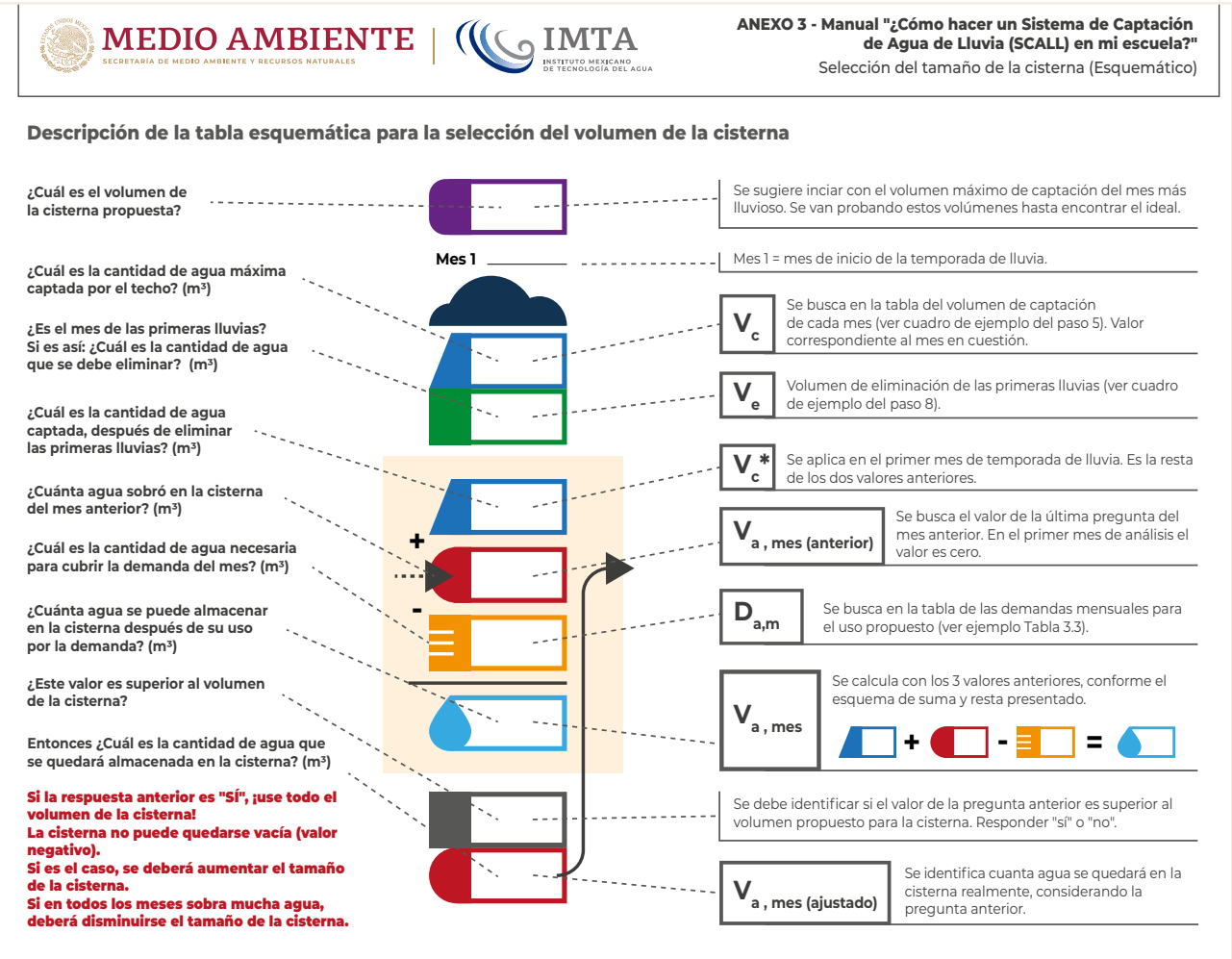


Figura 4.10: *Descripción de la tabla analítica para la selección del volumen de la cisterna del ANEXO 3.*

Ejemplo

Paso 9 - Identificación de la información para el cálculo del volumen óptimo de la cisterna

Utilizando lo que fue calculado en los cuadros de ejemplos anteriores:

- Tabla del volumen de captación máximo de cada mes (paso 5 , Tabla 4.2)
- Volumen de eliminación de las primeras lluvias (paso 8)
- Tabla de la demanda de agua de cada mes (paso 4 , Tabla 3.3)

Para iniciar los cálculos, además de los datos anteriores, se considera

- **Propuesta de volumen inicial de la cisterna:** Inicialmente es igual al valor máximo de captación en el mes más lluvioso: 87 m³ (ver cuadro del paso 5)

- **Mes de inicio de los cálculos, primer mes de la temporada de lluvias:** Junio

Se procede al cálculo del funcionamiento de la cisterna, utilizando las ecuaciones 9, 10, 11 y 12, así como sus consideraciones.

Para mejor entendimiento de la dinámica de cálculo, se presenta el cálculo utilizando la tabla esquemática del anexo 3, para seleccionar el mejor volumen de la cisterna de la escuela modelo. En la Figura 4.11 se presenta parte de esta tabla, el cálculo completo se puede consultar en el anexo 5.

Se probaron los volúmenes de 87, 90, 95, 100, 105, 110 y 115 m³. Se definió que una cisterna de **115 m³** presenta un volumen óptimo para el ejemplo de la escuela modelo, ya que no presentó valores negativos en la última pregunta, por lo que se muestranlos cálculos para este volumen.

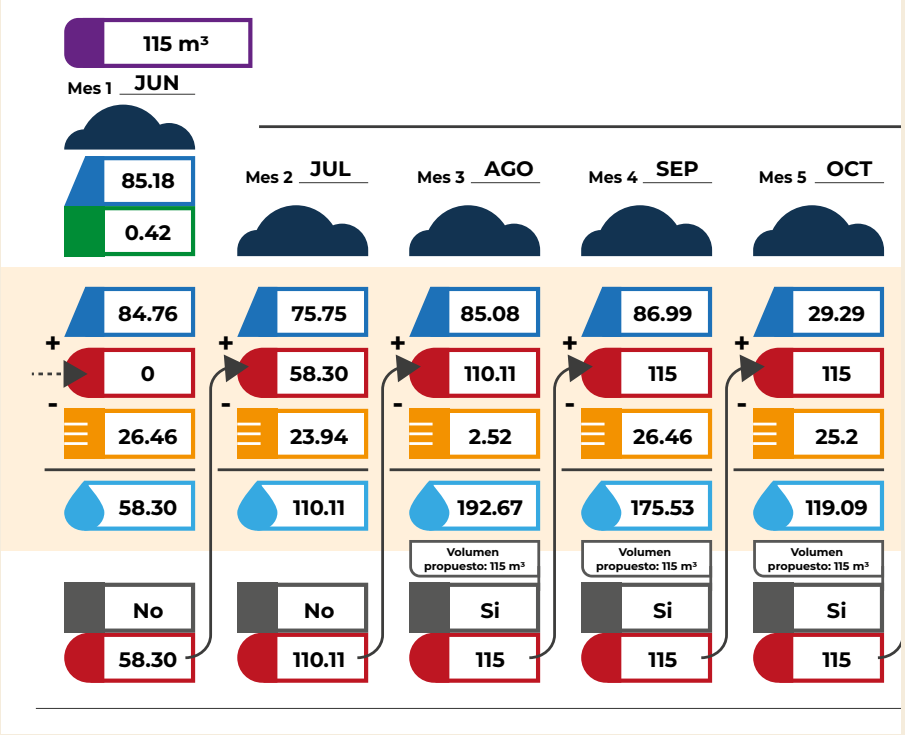


Figura 4.11: *Parte del cálculo esquemático para seleccionar el volumen de la cisterna del ejemplo (escuela modelo)*

Observaciones:

- La técnica de cálculo de la Figura 4.11 se realiza mes con mes.
- Hay meses en los que llueve poco y puede ocurrir que la cisterna quede vacía (valor negativo), cuando no hay mucha agua que sobra del mes anterior. Se observa cuándo ocurre esta situación en la pregunta número 7.
- Si en algún caso, antes de llegar al último mes, se vacía la cisterna, se debe proponer una mayor. En este ejemplo, esta situación ocurrió con los volúmenes propuestos que fueron probados inicialmente (87, 90, 95, 100, 105 y 110 m³). Entonces, se propuso una cisterna mayor.
- Hay meses en que llueve mucho, y la cantidad de agua que se puede almacenar sobrepasa la capacidad de la cisterna, por ejemplo, en el mes de agosto (Figura 4.11). Así, solo se considera el volumen total de la cisterna, el agua de más corresponde al desborde, y es conducida al drenaje. Las preguntas número 7, 8 y 9 permiten identificar esta situación.

Como ejemplo, también se muestra la tabla analítica del anexo 4 para el mismo cálculo aplicado a la escuela modelo.

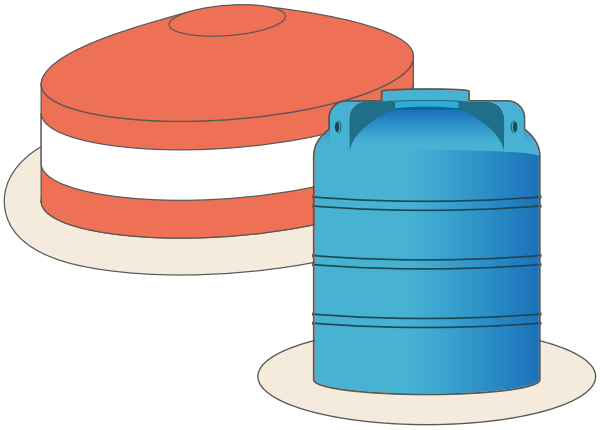
¿Cuál es el volumen de la cisterna propuesta?	115	m^3									
			Mes (iniciar en el mes más lluvioso)								
	Variable	Unidad	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
¿Cuál es la cantidad de agua máxima captada por el techo?	V_c	m^3	85.18	75.75	85.08	86.99	29.29	4.43	0.70	3.18	0.91
¿Es el mes de las primeras lluvias? Si es así: ¿Cuál es la cantidad de agua que se debe eliminar?	V_e	m^3	0.42								
¿Cuál es la cantidad de agua captada, después de eliminar las primeras lluvias?	V_c^*	m^3	84.76	75.75	85.08	86.99	29.29	4.43	0.70	3.18	0.91
¿Cuánta agua sobró en la cisterna del mes anterior?	$V_{a\,,\,mes\,(anterior)}$	m^3	0.00	58.30	110.11	115.00	115.00	115.00	98.01	82.33	61.57
¿Cuál es la cantidade de agua necesaria para cubir la demanda del mes?	$D_{a,\,m}$	m^3	26.46	23.94	2.52	26.46	25.20	21.42	16.38	23.94	22.68
¿Cuánta agua se puede almacenar en la cisterna después de su uso por la demanda?	$V_{a,\,mes}$	m^3	58.30	110.11	192.67	175.53	119.09	98.01	82.33	61.57	39.80
¿Este valor es superior al volumen de la cisterna?			no	no	si	si	si	no	no	no	no
Entonces, ¿cuál es la cantidad de agua que se quedará almacenada en la cisterna? Si la respuesta anterior es "sí", ¡use todo el volumen de la cisterna! ¡La cisterna no puede quedarse vacía (valor negativo)! Si es el caso, se deberá aumentar el tamaño de la cisterna. Si en todos los meses sobra mucha agua, deberá disminuirse el tamaño de la cisterna.	$V_{a,\,mes\,(ajustado)}$	m^3	58.30	110.11	115.00	115.00	115.00	98.01	82.33	61.57	39.80

Tabla 4.4: *Tabla analítica para seleccionar el volumen de la cisterna del ejemplo (escuela modelo)*

4.5.3. ¿Cuáles son las dimensiones de la cisterna?

A partir de la definición del volumen de la cisterna, se debe identificar su dimensión. En el caso de que se elija una cisterna prefabricada comercial, se debe identificar el tamaño (diámetro y altura) que la cisterna tiene para este volumen definido y considerar lo mencionado en el subtema 4.5.1, sobre el espacio que ésta ocupará en el sitio.

Para el caso en que se elija construir una cisterna, se debe definir el tipo y forma de la cisterna y proceder al cálculo de las dimensiones que esta debe tener para almacenar la cantidad de agua en cuestión. A partir del próximo tema se presentan las etapas para la implementación de una cisterna tipo capuchino, incluyendo el procedimiento de cálculo de las dimensiones, herramientas y materiales necesarios.



4.5.4. ¿Cómo se dimensiona una cisterna tipo capuchino?

La cisterna tipo capuchino tiene forma circular, entonces, para conocer el tamaño de la cisterna se debe calcular su diámetro y su altura.

Si se tienen las posibilidades de construir una cisterna tipo capuchino con volumen necesario para cubrir las demandas en todos los meses, es decir, con la capacidad del volumen óptimo calculado, sin que el terreno o presupuesto sea la limitante, se procede a calcular las dimensiones de esta cisterna para este volumen.

Para definir el diámetro es necesario fijar la altura de la cisterna que se va a proponer. Se recomienda utilizar una altura de 2 metros para el nivel máximo del agua adentro de la cisterna. Esta altura será utilizada para determinar el diámetro de la cisterna.
Para la construcción, la altura real de la cisterna será un poco superior, pues se debe considerar una altura adicional de por lo menos 10 cm por encima del tubo de entrada del agua de lluvia y la unión con la losa, lo cual es considerado un volumen muerto de la cisterna.

Nota: Debido a las características constructivas, la cisterna tipo capuchino debe tener una altura máxima de construcción de entre 2 y 2.45 metros.

Se determina el diámetro necesario para el volumen de la cisterna propuesto utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 13

$$D = \sqrt{\frac{4 \times V_{alm}}{3.1416 \times h}}$$

Donde:

D = diámetro de la cisterna (m)
V_{alm} = volumen de almacenamiento de la cisterna (m^3)
h = altura de la cisterna (m), recomendado 2 m

Es importante señalar que este valor hace referencia al diámetro interno de la cisterna tipo capuchino.

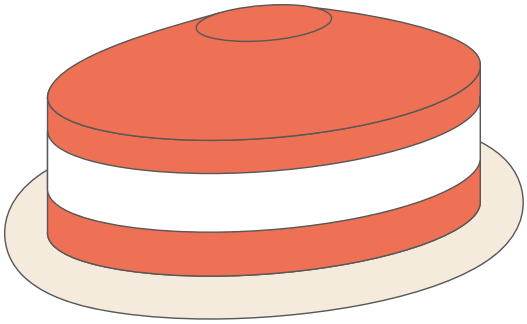
En el caso de que el espacio disponible para la instalación de la cisterna sea limitado y no permita construir una cisterna del tamaño ideal para cubrir el 100 % de la demanda, se procede al cálculo del tamaño máximo de cisterna que se puede instalar. Entonces, tomando en cuenta el espacio disponible, el diámetro de la cisterna será simplemente igual al espacio del terreno, descontado el área recomendada para la circulación de personas, ver los detalles del cálculo presentado en el subtema 4.5.1. De esta manera, lo que se buscará es identificar cuál es el volumen de almacenamiento (V_{alm}) que se puede tener. Utilizando la Ecuación 13, se obtiene que V_{alm}, a partir del diámetro y la altura de la cisterna es dado por:

Ecuación 14

$$V_{alm} = 0.785 \times h \times D^2$$

¿Qué es una cisterna tipo capuchino?

La cisterna tipo capuchino es una tecnología apropiada para almacenar el agua de lluvia. Consiste en una estructura cilíndrica de tabique colocado de canto (estilo capuchino), reforzada con malla electrosoldada.



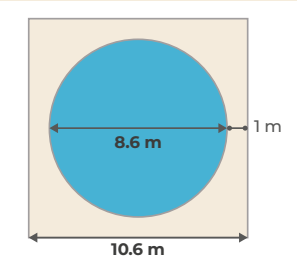
Ejemplo
Paso 10 - Cálculo del diámetro de la cisterna tipo capuchino

- Volumen de la cisterna para la escuela modelo: 115 m^3
- Altura de la cisterna: 2 m (recomendada)
- Aplicando la ecuación 13, el diámetro interno de la cisterna tipo capuchino es:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 115}{3.1416 \times 2}} = 8.5563 = 8.6\ m\ (por\ redondeo)$$

Tomando en cuenta las recomendaciones del subtema 4.5.1, el área necesaria para la instalación de la cisterna en la escuela modelo es:

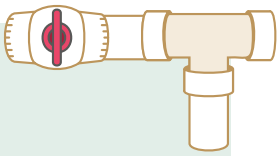
8.6 m + 2 m (circulación) = 10.6 m
Es decir, un cuadrado de 10.60 m x 10.6 m.



4.5.5. ¿Qué materiales y herramientas se necesitan para construir una cisterna tipo capuchino?

Herramientas sugeridas:

- Amarradores
- Cizalla
- Cuchara grande
- Mezcleras
- Llana de madera
- Llana metálica
- Pala
- Criba o arpillas
- Bote de 20 litros vacío
- Pisón de mano
- Escalera de tijera
- Nivel
- Pico
- Rastrillo
- Metro
- Espátula de 2”
- Plomo
- Manguera



Materiales:

- Mortero gris Portland
- Cemento gris Portland
- Cal hidratada
- Tabique rojo recocido de 6x12x24 cm
- Grava de ¾” de diámetro
- Arena
- Varilla corrugada de grado 42 de 3/8”
- Malla electrosoldada de 6x6/10-10
- Armex 15-15-4 sección cuadrada de 20 x20 cm
- Alambre recocido
- Clavos de acero con cabeza de 2 a 4”
- Tubo para cimbra de cartón enrollado en forma de espiral y laminado a alta presión, de diámetro de 30 cm
- Coladera con trampa de PVC hidráulico
- Tubo de PVC hidráulico, cédula 40
- Válvula de globo de PVC
- Lija de esmeril negra
- Pegamento para PVC
- Carrete de hilo cáñamo
- Cuerda o soga de 2” de diámetro
- Sellador vinil-acrílico clásico
- Pintura vinil-acrílica premium blanca
- Tapa metálica para cisterna de 0.60 x 0.60 m
- Tubo de PVC sanitario de 4"

4.5.6. ¿Cómo construir una cisterna tipo capuchino?

La técnica de construcción es la misma que se emplea en el muro capuchino, en el que los tabiques se colocan de canto. Se sugiere involucrar la comunidad escolar durante todo el proceso de construcción de la cisterna.

Si la capacidad de la cisterna es grande, se debe considerar la construcción de columnas centrales en la parte interior de la cisterna (castillos) de 20 x 20 cm. Se recomienda introducir una columna central para volúmenes arriba de 50 m^3, si se trata de de dimensiones muy grandes se pueden necesitar más de una columna.

Ejemplo

Paso 11 - Características constructivas de la cisterna tipo capuchino

Datos calculados en el cuadro anterior:

- Diámetro interno de la cisterna = 8.6 m
- Diámetro total para la construcción = 10.6 m

Radio interno de la cisterna = 8.6 m/2 = 4.3 m
Altura del nivel del agua en la cisterna = 2 m (definido anteriormente)
Perímetro de la cisterna (P) = 27.01 m
Longitud de la malla para el cilindro = P + 0.60 m = 27.01 + 0.60 = 27.61 m = 27.65 m (por redondeo)

Notas:

Relación diámetro y radio de un círculo
radio (r) = diámetro / 2
diámetro (D) = 2 *radio

Perímetro de un círculo (P)
P = 3.1416 x diámetro o
P = 2 x 3.1416 x radio

La construcción de la cisterna tipo capuchino se divide en diversas etapas, que describiremos a continuación:

Etapa previa:

- Limpiar el terreno de cubierta y tierra vegetal, considerando el diámetro total para la construcción (D + 2m) (área del diámetro de la cisterna + 2 m para la circulación).

1) Trazo, nivelación y compactación del terreno

- Fijar una varilla en el sitio donde estará el centro. Se amarra un hilo en la varilla y se mide la longitud del radio de la cisterna. Se gira el hilo sobre la varilla central, manteniéndolo tenso, y se va marcando con cal un círculo (Figura 4.12).
- Definido el círculo, se verifica que el terreno esté nivelado quitando piedras grandes.
- Dado que las cisternas para abastecer una escuela serán grandes, se requiere aplicar un mejoramiento básico del terreno que consiste en aplicar una capa de grava y compactar con un pisón humedeciendo un poco el material (Figura 4.12). Posteriormente se debe verificar que el terreno siga nivelado.

Figura 4.12: *Dibujo del círculo de la cisterna y compactación del suelo y grava*

Recomendación:
verificar el nivel del terreno con una niveleta de albañil de un metro o más o con el apoyo de una manguera. Si no se cuenta con una niveleta de esta dimensión, colocar una madera o un ángulo de herrería mayor de un metro y sobre esta colocar la niveleta. Se recomienda verificar el nivel del terreno con la manguera, debido a la precisión. Este paso es fundamental para facilitar la instalación de la cisterna.

2) Armado y colocación de la malla

- Sobre el círculo previamente trazado, limpiado y nivelado se colocará un cuadro de malla en el suelo que abarque todo el diámetro de la cisterna (malla de fondo) (Figura 4.13). Si la malla no tiene las dimensiones necesarias, se pueden unir varios trozos, teniendo cuidado de dejar un traslape de 20 cm y de amarrar bien los traslapes.
- Verificar que el cuadro de malla esté horizontal sobre una superficie plana, de ser necesario se deberá aplanar con un marro.
- Para el armado de la malla para el cilindro (cuerpo de la cisterna), se deberá generar un anillo de malla que pueda colocarse sobre el círculo trazado (Figura 4.14).
- El rollo de malla tiene un alto de poco más de 2 metros y lo que varía es la longitud o círculo del anillo. Para el cierre se traslaparán 30 cm y se cuidará que quede bien amarrado el traslape. La longitud de la malla es igual al perímetro del círculo de la cisterna, y se deben sumar los 60 cm de traslape (longitud = P + 0.60 cm).
- Se colocará el anillo sobre el círculo trazado y se doblarán los sobrantes del cuadrado de la base para unir el anillo con éste, igualmente amarrando bien los traslapes. Se amarra con alambre recocido (Figura 4.15).

Figura 4.13: *Colocación de la malla de fondo*

Figura 4.14: *Armado de la malla para el cilindro (cuerpo de la cisterna)*

Figura 4.15: *Amarre de la malla del cuerpo de la cisterna sobre la malla de fondo*

3) Colado de la losa de fondo e integración de la tubería de toma de agua

- Por fuera del armado de malla se colocará una hilada de tabiques rojos sobre su extremo más delgado, al estilo capuchino, es decir, se pone el tabique de canto. Esta hilera contendrá la mezcla de la losa de fondo (Figura 4.16).
- Si la cisterna tiene grandes dimensiones, al centro del círculo se coloca el Armex o castillo armado de 20 x 20 cm. Se debe hacer la colocación de anillos a cada 30 cm, este soporte es más por claros de losa que por peso, ya que la losa será muy ligera, con 7 cm de espesor. En la base del Armex se doblan las varillas hacia afuera y en L, estas varillas se amarran a la malla de la base. Hay casos en los que es necesario colocar más de un castillo en el medio, para sostener toda la estructura.
- Luego se procede al colado de la losa de fondo con una mezcla grava (5 botes)-arena (4 botes) -cemento (1 saco)-agua (1 ¾ botes para referencia) (Figura 4.16). Se agrega agua hasta obtener una consistencia trabajable de la mezcla, no se debe agregar más agua de la necesaria, ya que el exceso afecta la resistencia del concreto. Se buscará que la losa tenga 13 cm de espesor y que la malla quede sumergida por lo menos 8 cm y distante del suelo al menos 5 cm. Se recomienda subir la malla con piedras o elementos de concreto para asegurar que quede al menos 5 cm distante del piso.
- Durante el colado se debe levantar la malla con el amarrador para garantizar que la malla quede inmersa y no en el fondo.
- Previo a la solidificación del concreto, se armará una llave con tubo de PVC hidráulico para integrar la toma de agua como se muestra en la Figura 4.17, colocándola en el punto bajo de la losa o hacia donde se dejó la pendiente. Se debe tapar el codo para evitar que entre la mezcla. El diámetro del tubo de PVC depende de como será la instalación de la distribución de agua. Por lo general, diámetro entre 1" y 2" es suficiente.
- La losa debe tener una ligera pendiente (inclinación) hacia donde se instala la tubería de toma para permitir la salida del agua.
- Al terminar de colar la losa se vibra para compactarla, se deja secar por algunos minutos y se aplana nuevamente con una tabla o pisón.
- Finalmente se vierte un poco de una mezcla de cemento, arena cribada y agua para pulir el fondo.
- Debe dejarse fraguar por lo menos 24 horas e hidratar el concreto antes de iniciar con la construcción del muro de tabique.

Técnica de amarre:

1. Se corta un trozo de alambre recocido de 30 cm y se dobla a la mitad.

2. El extremo donde quedo el doblez se pasa por detrás de uno de los puntos de unión del traslape y se dobla trayéndolo hacia el frente.

3. Se introduce la punta del amarrador en el extremo del alambre donde quedo el doblez y se tuerce de manera tal que, al girar el amarrador, el doblez se amarre con el otro extremo. Se gira hasta que el amarre sea firme, sin romperlo.

Doblar o cortar las puntas si es necesario.

Figura 4.16: *Colocación de tabique alrededor de la malla y colado de la losa de fondo*

Figura 4.17: *Colocación de la tubería de salida del agua dentro de la losa de fondo.*

Figura 4.18: *Colocación del muro tipo capuchino*

4) Colado de la columna central

- Una vez colado el Armex en la losa, se coloca un tubo para cimbra para contener el concreto, posteriormente se rellena con una mezcla de arena, cemento, grava y agua.
- Se retira el tubo para cimbra a las 24 horas y se hidrata el concreto constantemente.

5) Construcción del muro capuchino

- Los tabiques se colocan sobre su lado más angosto, humedeciéndolos o remojandolos para aumentar su adherencia.
- Los tabiques se colocan al interior, dejando la malla por fuera, hasta alcanzar la altura total de la malla (Figura 4.18). Se debe poner el tabique lo más pegado que se pueda a la malla.
- Las juntas entre tabiques deben ser de aproximadamente 1 cm de espesor.
- Se recomienda concluir el muro el mismo día y humedecer constantemente los tabiques ya colocados.
- Cuidar en la colocación de los tabiques mantener la redondez de la cisterna, además, con un plomo verificar que se encuentren vertical en todo el contorno, verificar que los tabiques queden totalmente recargados a la malla.
- Se sugiere aplicar 3 refuerzos (Figura 4.19) con tensores o varillas de alambre recocido, formando cinturones:
  1. Amarrar un tramo de varilla a la periferia de la cisterna por la parte externa a 5 cm del fondo;
  2. De la misma manera se amarra otro tramo de varilla a 2/3 partes de la altura del muro, midiendo de arriba hacia abajo;
  3. Amarrar otro tramo de varilla a 15 cm abajo de la altura del muro.
- Limpiar los sobrantes de mezcla para tener mejores acabados.
- Se debe dejar en la parte de la última hilada de tabique un espacio para instalar el tubo de excedencias y el tubo de llegada de agua, que viene de la captación (tubo de PVC sanitario de 4").

Relación para pegado del tabique:

1 bulto de mortero
5 botes de arena fina
agua

Figura 4.19: *Colocación de las varillas de refuerzo*

6) Acabado interior

- Debe hacerse un chaflán de 15 x 15 cm en la base de la cisterna para evitar fugas, para ello se ocupa una mezcla de cemento, arena, grava y agua.
- El acabado interior debe ser más detallado ya que se evitarán a toda costa las infiltraciones, se lleva a cabo mediante cinco capas colocadas una tras otra:
  - Primera: con una mezcla de agua, cemento y arena, iniciar el sellado con una capa delgada para cubrir el material del interior (Figura 4.20).
  - Segunda: con una mezcla de arena cribada, agua y cemento colocar una capa de 3 mm con llana como si se estuviera colocando yeso, es decir compactando la capa y tapando los poros.
  - Tercera: una capa delgada (3 mm) de agua y cemento que se coloca mediante llana, compactando la capa (procedimiento similar a la capa anterior).
  - Cuarta: colocar de igual manera que la segunda, con llana de lámina fina y comprimiendo con la mano, para asegurar la impermeabilización y el refuerzo del repellado.
  - Quinta: se debe colocar con lechada de agua y cemento en un espesor de 3 mm para dar el acabado final, repitiendo el proceso de la tercera capa.

7) Colado de la losa superior de la cisterna

- Para la cimbra de la cúpula o losa superior se deben fabricar marcos de madera sostenidos en el muro capuchino y gajos de madera de triplay dando la forma circular de la cisterna.
- Se debe dejar un hueco dentro de un gajo para la tapa de acceso al interior de la cisterna (tapa de registro), que se fabricará y colará de manera independiente.
- Entre el muro capuchino y la losa se coloca por fuera un cinturón de ladrillos rodeado de triplay para garantizar el sellado de la losa y el muro capuchino.
- El armado de la losa consta de malla sobrepuesta en la cúpula amarrada con la malla sobrante del anillo y varillas de 3/8" como tensores sobre la cimbra (Figura 4.21).
- Las varillas tensoras se doblan en 90° amarrando por fuera de la malla del muro capuchino y extendiéndose por la cimbra hasta el otro extremo de la losa y el muro. Se deben cortar las varillas 10 cm más largas para poder doblar.
- Las varillas tensoras se amarran con 3 anillos de varilla de 3/8" que rodean la superficie de la losa.

Figura 4.20: *Aplicación del acabado interior (primera capa)*

Relación de las mezclas para acabado interior

Primera capa:
agua - cemento o mortero (1 saco) - arena (3 botes)

Segunda capa:
agua-cemento o mortero (1 saco) - arena cribada (3 botes)

Tercera capa:
agua – cemento

Cuarta capa:
agua - cemento o mortero (1 saco) - arena cribada (3 botes)

Quinta capa (lechada):
agua (50%) - cemento (50%)

- La malla vertical sobrante de los muros se dobla hacia las varillas y se amarra a estas con alambre recocido.
- Colocar la tapa del registro y amarrarla a la malla o varillas.
- El colado de la losa se lleva a cabo con una mezcla de arena, grava y cemento dejándola espesa, con la proporción 1 saco de cemento para 4 botes de arena y 5 botes de grava. Se coloca desde la parte superior hacia abajo dejándola caer en forma circular.
- Cuidar que la losa tenga un espesor de 7 cm.
- Se deja fraguar la losa por 72 horas, posteriormente se quita la cimbra y se extrae por el orificio de la tapa de registro.
- Se limpia toda la basura interior y se coloca la tapa de registro previamente colada.
- Finalmente se deberá regar la losa por 5 días consecutivos.

8) Repellado exterior

- El repellado y acabado exterior debe cubrir la malla y las varillas para protegerla de la intemperie y también darle mayor resistencia al muro capuchino.
- Se debe mojar bien los tabiques antes de repellar.
- Para el repellado se utiliza una mezcla de agua-cemento-arena.
- Se repella el muro con una capa de más de 3 cm, utilizando una cuchara de albañil o algún medio mecánico o compresoras. Los aceros deben quedar recubiertos al menos 3 cm.

9) Acabado exterior

- Se aplican 2 capas para rellenar los huecos.
    - Primera capa: aplicar una capa delgada (3 mm) de mezcla de agua, cemento y arena cribada, con llana con el fin de compactar la capa y tapar los poros (utilizar regla o madera).
    - Segunda capa: aplicar otra capa delgada (3 mm) con la misma mezcla anterior con llana, para compactar la capa.

10) Terminación de la cisterna

Pintar la cisterna para protegerla de la intemperie y ofrecer una mejor imagen. Sugerencia: solicitar a los alumnos de la escuela que participen en este proceso para promover el conocimiento del SCALL instalado y aprovechar la oportunidad para señalar la importancia del cuidado del agua.

Figura 4.21: *Colocación de la malla sobrepuesta y las varillas tensoras en la losa superior*

Relación de la mezcla para repellado exterior

agua - cemento (1 saco) - arena (3 botes)

Relación de las mezclas para acabado exterior:

Primera y segunda capas:

agua - cemento o mortero (1 saco) - arena cribada (5 botes)

5. Recomendaciones para la operación y mantenimiento del SCALL

Ya instalado el SCALL en la escuela, es importante estar al pendiente de él y aplicar las recomendaciones de limpieza y mantenimiento para que este sea funcional y útil. Para ello se presentan los siguientes puntos:

5.1. Mantenimiento del SCALL

Anualmente, antes de la temporada de lluvias o durante el mes con menor precipitación, en las regiones donde llueve durante todos los meses:

- Lavar los techos de captación.
- Limpiar profundamente las canaletas.
- Limpiar profundamente el filtro de hojas.
- Verificar que no existan fugas en el trazo del sistema de recolección y conducción del agua, principalmente en las uniones (canaletas y tuberías de bajada de agua).
- Limpiar el interior de la cisterna (retiro de sedimentos y lavado de las paredes interiores).
- Retirar la basura acumulada encima de la cisterna.
- Verificar y, si es el caso, reparar grietas y fisuras en el interior y exterior de la cisterna (si la cisterna es construida).
- Retoque de la pintura exterior (si la cisterna es construida).

Cada mes:

- Limpiar el filtro de hojas (es la clave para captar el máximo volumen de agua de lluvia).
- Limpiar las canaletas (superficial), sobre todo si hay árboles cerca.

Al inicio de la temporada de lluvias:

- Estar al pendiente de cómo evoluciona el volumen de las primeras lluvias, eliminarlas y drenarlas.

Durante la temporada de lluvias y recolección de agua:

- Mantener limpio en la medida de lo posible todos los elementos del sistema (hacer revisiones constantes).
- Lavar los techos de captación, después de varios días sin lluvias.

Nota: Estos procedimientos deben realizarse en la frecuencia indicada o cuando sea necesario.

5.2. Recomendaciones generales

Techo de captación

- Podar árboles que aporten hojas hacia el techo de captación antes que inicie el período de lluvias.

Antes del inicio de la temporada de lluvias

- Realizar la limpieza del techo.
- *En el mes anterior del inicio de la temporada de lluvias,* antes de iniciar con la recolección de agua de lluvia, es buen momento de *revisar todos los componentes del sistema* y aplicar cualquier resane o implementación que se necesite.

Sistema de recolección y conducción

- Cuando se inicie la recolección de agua de lluvia, *verificar que todos los soportes de la canaleta y sistemas de conducción estén lo suficientemente fijos* para soportar el movimiento y peso del agua de lluvia.

Cisterna

- *Mantener la cisterna siempre tapada*, para que no entre la luz y evitar así el crecimiento de algas y microorganismos, y para evitar la entrada de basura, materia orgánica y animales.
- Mantener limpia de basura la base exterior de la cisterna.
- Es importante resaltar que no es recomendable vaciar por completo la cisterna y mantenerla vacía por un periodo prolongado, ya que podría agrietarse. *En caso de ser necesario vaciarla, por ejemplo, para la limpieza, se recomienda dejar 10 cm de agua al interior* para prevenir la formación de grietas.
- Se recomienda hacer la *limpieza de la cisterna, antes del inicio de la temporada de lluvias,* es decir, una vez que se utilizó el agua casi en su totalidad y antes que se inicie el almacenamiento en la nueva temporada de lluvias.
- Para la limpieza interior y reparación de grietas de la cisterna se debe dejar de abastecer la cisterna y posteriormente el agua que queda en la cisterna debe ser eliminada.
- *En caso que la cisterna presente grietas,* humedezca el área y aplique como mínimo una placa de mezcla, cemento y agua (lechada) (en caso de que sea una cisterna construida).

Tratamiento del agua en la cisterna

- No es necesario clorar el agua de lluvia almacenada en la cisterna si el uso que se le va a dar es para actividades que no requieren agua potable, es decir, aquellas en las que no se tiene un contacto directo con esta agua (por ejemplo, descarga de los inodoros, limpieza de superficies). No obstante, si existe la posibilidad de aplicar un proceso de cloración al agua de la cisterna, es sin duda recomendable.
- Como medida de precaución, se recomienda clorar el agua de lluvia para uso en actividades sin contacto directo si la localidad se encuentra en centros urbanos con alta contaminación del aire. Si es el caso, se sugiere consultar un especialista.

¡Atención!

- Nunca se debe mezclar el agua de lluvia en el reservorio de agua potable, porque el agua de lluvia sin que se aplique un tratamiento específico no es potable.
- Nunca se debe recolectar el agua de lluvia de techos donde haya presencia de mascotas, debido sus excrementos.

6. ANEXOS

ANEXO 1 – *Tablas de consulta de precipitación promedio mensual*

ANEXO 2 – *Diagrama esquemático para el dimensionamiento de un SCALL*

ANEXO 3 – *Selección del tamaño de la cisterna (esquemático)*

ANEXO 4 – *Selección del tamaño de la cisterna (analítico)*

ANEXO 5 – *Tablas de selección del tamaño de la cisterna (ejemplo del manual)*

ANEXO 6 – *Plano tipo de un SCALL para escuela (ejemplo del manual)*

Bibliografía

- NMX-AA-164-SCFI-2013, Edificación sustentable-criterios y requerimientos ambientales mínimos. México.
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (Sedema), Isla Urbana (iu) Instituto Internacional de Recursos Renovables (irri). (2020). Cosechar la lluvia, Manual para instalarlo en tu vivienda. Sedema/iu/irri. México.
- Escuela Hágalo Usted Mismo (HUM). (2019). Manual ¿CÓMO ESCOGER? CANALETAS Y BAJADAS DE AGUAS LLUVIA. Chile.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2017). Cisterna, Manual de Instalación. México.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2021). Sistema de Captación de Agua de Lluvia SCALL, Manual de Instalación. México.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). (2015). Manual para captação emergencial e uso doméstico de água de chuva. São Paulo, Brasil.