

# Reciclaje de aguas lluvias para uso en viviendas

## Recycling rainwater for use in housings

### INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Historial del artículo:

Recibido  
17-08-2011  
Aceptado  
29-05-2012  
Publicado  
20-12-2012

Palabras Claves:  
Reciclaje  
Sustentabilidad  
Agua lluvia

### ARTICLE INFO

Article history:  
Received  
17-08-2011  
Accepted  
29-05-2012  
Available  
20-12-2012

Keywords:  
Recycling  
Sustainability  
Rainwater

Lira G.<sup>1</sup>

**1 Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera, Chile.  
glira@ufro.cl, phone: 56-45-325685**

### RESUMEN

En el contexto de la edificación sustentable y la crisis mundial del agua, el presente artículo, analiza la factibilidad técnico - económica de implementar un sistema de aprovechamiento de las aguas lluvias en viviendas para la ciudad de Temuco (Chile).

Se mencionan reseñas históricas respecto a los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias. También, se describen los componentes básicos de un sistema de reciclaje, para luego analizarlos en 3 usos con sus costos y amortización:

1. Riego y lavado de autos.
2. Riego, lavado de autos, WC y lavado de ropas.
3. Riego, lavado de autos, WC, lavado de ropas y consumo humano.

Finalmente se concluye que el sistema más factible, es el aprovechamiento de aguas lluvias para riego y lavado de autos. Esto considerando que no se necesita contar con equipos sofisticados, los que se pueden encontrar localmente. Se concluye además que mientras más jardín tenga una vivienda (m<sup>2</sup>), más ahorro se puede generar en el consumo de agua potable y en el tiempo de amortización.

### Abstract

This paper analyses the economic and technical feasibility of implementing a system to exploit the houses' rainwater in Temuco City (Chile), which is important in the current context of sustainable construction and the worldwide water crisis.

We mention some historical facts regarding the rainwater exploitation systems as well as their main basic components. Then, we analyses the costs and benefits of using the recycled water in three different ways. Namely,

1. Irrigation and car washing.
2. Irrigation, car washing, WC, and laundry.
3. Irrigation, car washing, WC, laundry, and human consumption.

Finally, we conclude that the most feasible system is the use of rainwater for irrigation and car washing. This conclusion considers the fact that the equipment required for this alternative is not sophisticated and it is locally available. We also conclude that the larger the garden size of the house (in terms of m<sup>2</sup>) the higher is the saving in potable water consumption and the shorter is the period in which the investment cost is totally paid.

## 1. Introducción

En nuestro planeta, del total de los recursos hídricos, el agua dulce solamente representa el 2,5%. Estos 2,5% están distribuidos en un 68,7% en glaciares, 30,1% en aguas subterráneas, mientras que sólo un 0,8% aflora en aguas superficiales.

Actualmente, la Organización de las Naciones Unidas estima que la cuarta parte de la población mundial carece de agua potable y que esta proporción se duplicará dentro de veinte años debido al calentamiento global y al crecimiento de la misma. Es por eso que uno de los problemas más graves que deberá enfrentar el mundo es la escasez de agua potable en los próximos años. Fig N°1.

Existen países que están aplicando sistemas para lograr el uso más eficiente de las aguas, tales como los del norte de Europa, que son más responsables con respecto a esta problemática. Por eso, para evitar que la escasez del agua pueda afectar también a nuestro país, es necesario hoy, implementar en la conciencia de la población, el uso eficiente y el ahorro en el consumo diario de este vital elemento.

En base a datos aportados por compañías privadas que proveen el servicio, la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) elaboró un estudio de consumo doméstico hecho en el año 2007 y 2008, llegando a la siguiente conclusión: En Chile no hay consumo responsable del agua. Se estima que 100 litros mensuales por habitante son suficientes para no afectar su calidad de vida. Sin embargo, el estudio afirmó que el consumo de los chilenos varía entre los 119 y los 173 litros al mes, niveles muy superiores a los que realmente se requieren.



Figura 1. Crisis del agua

La empresa Aguas Araucanía S.A., de Temuco, después del estudio del consumo, concluyó que el gasto medio diario de cada habitante llegó a los 128 litros, en tanto que en el periodo estival alcanza 157 litros y en invierno 112 litros, lo que significa que el gasto per cápita se ubica en la zona intermedia.

El estudio realizado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios tiene por objetivo que los ciudadanos sepan cuánto están consumiendo, de manera que en el futuro puedan cuidar la economía del hogar y mejorar su calidad de vida, como también para preservar el uso de un recurso escaso como es el agua.

Aunque Aguas Araucanía S.A. afirma que Temuco se encuentra en zona intermedia, siendo esta región, una zona con una pluviometría anual que alcanza a 1250 milímetros concentrada en los meses de invierno, se estima que es posible implementar algún sistema eficiente de un uso alternativo del agua lluvia en las viviendas, para disminuir el consumo del agua potable, la cual cada vez requiere de mayores inversiones para su producción.

## 2. Distribución del Agua

El agua cubre aproximadamente el 70% de la superficie de la tierra, en su mayor parte agua salada y el resto agua dulce, sin embargo, a pesar de su aparente abundancia, sólo una pequeña fracción del 2,5% es agua dulce. La distribución del 2,5% de esta agua se encuentra presente en los glaciares, aguas subterráneas y aguas superficiales, dentro de las aguas superficiales están los ríos, lagos, humedad del suelo y otras humedades. Teniendo su mayor concentración en los glaciares, sin embargo, lejos de los ámbitos poblados.

La atmósfera terrestre contiene aproximadamente 13.000 km<sup>3</sup> de agua. Esto representa el 10% de los recursos de agua dulce de la tierra que no se encuentran en las aguas subterráneas, en los casquetes polares ni en el permafrost. El flujo de las aguas dulces procede de las aguas lluvias, y de la escorrentía proveniente del derretimiento del hielo y de la nieve. Fig. 2.-

El agua dulce es de vital importancia para el consumo humano y uso doméstico, es por eso que la calidad del agua pasa a ser una constante preocupación para los usuarios y autoridades.

El aporte del ciclo hidrológico del agua no ofrece garantías a la humanidad, ya que sólo dos tercios de la población mundial reciben una cuarta parte de las precipitaciones anuales del mundo. Por ejemplo: el 20% de la escorrentía media mundial por año corresponde a la cuenca amazónica, una vasta región con menos de 15 millones de habitantes, que es una minúscula fracción de la población mundial. Norteamérica tiene la mayor cantidad de agua

dulce disponible, con más de 19.000 metros cúbicos per cápita por año. En cambio, en Asia (incluido el Medio Oriente) la cantidad per cápita es apenas 4.700 metros cúbicos. Y en África y Medio Oriente, están los países que enfrentan escasez absoluta o estacional de agua.

Sin embargo, a pesar de lo abundante que es el agua en algunas zonas del planeta, uno de los mayores problemas que enfrenta el ser humano hoy es la escasez de dicho recurso. Además, a medida que la población va creciendo, aumenta más aun la cantidad de países que confrontan este problema. Otros factores de la escasez están también el desarrollo tecnológico, la urbanización masiva e incluso el calentamiento global.

La competencia por el suministro del agua dulce va produciendo problemas sociales, económicos y políticos. En los países que tienen mayor disponibilidad utilizan el agua ignorando el suministro disponible en los países que no la tienen. Además es preocupante observar la diferencia de costo que tiene el agua en los diferentes países del mundo, en Malasia un metro cubico de agua cuesta \$20 USD, en cambio en los EE.UU. el costo de agua es de \$0,10- \$0,15 USD, lo cual indica que un país pobre paga hasta 200 veces más que un país rico. Además el valor del agua embotellada ha alcanzado valores por litro mayores a los de la leche y la gasolina, por lo que se puede considerar que a medida que la problemática del agua se va incrementando, traerá catástrofes a nivel internacional tales como son: las guerras, hambrunas, miserias, sequias y migración.

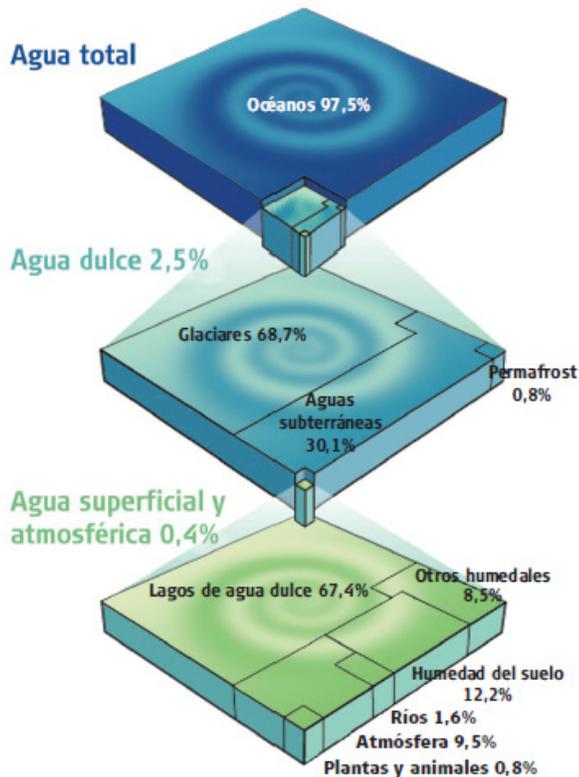


Figura 2. Distribución del agua

### 3. La crisis mundial del Agua

A medida que va aumentando la población, aumenta el número de países que confrontan condiciones de escasez de agua. Cuando un país se enfrenta a una escasez de agua, es decir, experimenta tensión hídrica, la cual significa que el suministro anual de agua desciende a menos de 1.700 m<sup>3</sup> por persona. Y cuando el agua desciende a menos de 1.000 m<sup>3</sup> por persona, entonces el país tendrá amenaza en su producción de alimentos y obstaculiza el desarrollo económico.

En general en el mundo existe un mal uso del agua, el sistema de riego inapropiado para el sector agrícola, la fijación inadecuada del precio, etc. El desperdicio del agua es otro tema importante a analizar, como el agua se ha convertido en un elemento fundamental para la vida humana, sin embargo, en algunos países aun lo siguen desperdiciando.

Se estima que la distribución del consumo promedio diario de agua por persona, es aproximadamente la siguiente: 36% en el inodoro; 31% en higiene corporal; 14% en lavado de ropa; 8% en riego de jardines, lavado de automóviles, limpieza de vivienda, actividades de esparcimiento y otras; 7% en lavado de utensilios de cocina y vajilla, y 4% en bebida y alimentación.

De lo anterior, se puede dar cuenta de que el inodoro usa bastante cantidad y muchas veces las personas no perciben su importancia y gasto que puede implicar.

Hoy tanto en los países pobres como en los en vía de desarrollo, se puede ver una crisis de la escasez del agua, además con la creciente explosión demográfica y el deterioro de la calidad, la población se ve afectada tanto por la falta del agua potable, como por su salud y bienestar.

En el año 1950 no más de diez países tenían este problema, sin embargo, en el año 1995, 31 países con una población de más de 458 millones de habitantes enfrentaron la tensión hídrica. No obstante, el consumo se ha duplicado desde a mediados del siglo XX. En los países más desarrollados consumen 12 veces más que los países pobres. La ONU sostiene que las grandes ciudades europeas debido a la fuga en sus cañerías pierden hasta 80% del agua. En Indonesia cada año gastan más de 50 millones de dólares en hervir agua para su uso doméstico. Y en los países en vía de desarrollo, más del 90% de las aguas residuales van a los lagos y ríos directamente, sin depuración.

Según las cifras entregadas por UNESCO aproximadamente 1.000 millones de personas sufren de la escasez de agua en la actualidad y que para el año 2025 esta podrá alcanzar hasta 3.000 millones. Este problema es crítico, particularmente en los países del Norte de China, Norte de África y Este de Asia. Si la cantidad de población del mundo sigue aumentando, es evidente que se necesitará más agua para alimentarla. Además con el calentamiento global como otra causa, las sequías y la falta de lluvias en algunos países del mundo, hace que sus caudales de lagos, ríos y embalses disminuyan sus niveles.

Una de las principales preocupaciones de los gobiernos es justamente la crisis del agua, a medida que la situación va intensificando, la tensión que enfrentan es cada día mayor. Es por eso que todos están buscando una solución radical al dicho problema, encontrándose como una de las alternativas la privatización del agua para hacer más eficiente su producción y distribución, lo cual implica mayor costo para los usuarios pero asegura el servicio.

Para el imperio romano, el trigo era fundamental, en estos últimos tiempos, el petróleo es visto como materia prima estratégica, y se está dispuesto a ir a la guerra por esto. Sin embargo, el agua ha comenzado a tomar un papel preponderante, ya que este recurso pasó a ser un elementopreciado por muchos países. Sin duda alguna en el siglo que viene, ya no se hará la guerra por el petróleo sino por el agua (oro azul). "Las guerras del siglo que viene será provocadas por la falta de agua." (Vicepresidente del banco mundial, 2001). Fig 3.-



Figura 3. Guerra por el agua

#### 4. La situación en Chile

Chile es uno de los países privilegiados a nivel mundial en cuanto a la disponibilidad de recursos hídricos de superficie, cuenta con una de las mayores reservas de este recurso en campos de hielo sur, en la zona austral. Sin embargo, este patrimonio está irregularmente distribuido a lo largo del territorio nacional, debido a las diversas condiciones físicas y climáticas, encontrándose zonas de gran abundancia en las regiones del sur y escasísima disponibilidad en las regiones del norte.

Según la Dirección general de agua (DGA), la precipitación media anual es de 1.522 mm, pero la distribución de estas es variable dada la gran diversidad de climas que presenta el país. Desde el norte del país hasta la región Metropolitana la disponibilidad de agua es menos de 1.000 m<sup>3</sup> por habitante al año, lo que se considera bajo de acuerdo a estándares internacionales, según la Dirección General de Aguas. Y desde la VI a la IX Región la disponibilidad crece a entre 6.000 y 30.000 m<sup>3</sup>, lo que se considera holgado, y desde la X Región al sur del país la provisión es de más de 100.000 m<sup>3</sup>.

En el norte de Chile, conocido como uno de los desiertos más áridos del planeta, la disponibilidad del agua en las tres primeras regiones también es escasa. Se puede decir que el recurso hídrico en el norte chileno está prácticamente agotado, según DGA el balance general de agua a nivel regional está en negativo. (Escasez de precipitaciones). Fig. 4.-



Figura 4. Escasez de agua en los esteros de la provincia de Choapa.

Para los usos de aguas en Chile, el código de aguas vigente estableció una nueva categoría de derechos: consuntivos y no consuntivos.

El uso consuntivo, consiste en la utilización de los recursos hídricos para el consumo, impidiendo su reutilización o su reintegro al cauce en las mismas condiciones. (minería, industria, riego agrícola y consumo doméstico).

El uso no consuntivo, que utiliza el recurso hídrico sin consumirlo, devolviendo las aguas a su cauce. (hidroeléctricas).

En la actualidad la demanda de aguas para uso consuntivo muestra una distribución desigual. En las regiones Metropolitana, VI, VII y VIII son las que demandan mayor volumen de agua.

En las dos primeras regiones del país se observa que los usos domésticos, mineros, industriales y agrícolas se encuentran de manera equilibrada, mientras que en la III región predomina el uso minero y agrícola. En la región V y Metropolitana predominan el uso doméstico y en las regiones VI y IX es absolutamente uso agrícola, en cambio para las regiones de la X al sur los usos son pocos significativos. Con respecto al uso no consuntivo se concentran preferentemente entre las regiones VII y VIII (Hidroelectricidad).

Según la Dirección General de Aguas, proyectan que las demandas de aguas para un periodo de 25 años (1997 – 2017) duplicarán los requerimientos de agua para uso consuntivo (uso doméstico, mineros e industriales)

Para usos domésticos: de consumo, aseo personal, cocina, inodoro, riego de jardines, llenado de piscina, entre otros. Para ello se utiliza el agua potable, sin embargo, se está gastando inconscientemente este recurso tan apreciado hoy en día. Es por eso que a pesar de que en la zona centro sur a diferencia del norte de Chile, no existe el problema de escasez de agua muy evidente, pero en el caso de la novena región de La Araucanía el gasto medio diario por habitante es de 128 litros, significa que se deben implementar cambios en los hábitos de consumo en los habitantes.

La escasez de agua dulce es una amenaza que se tendrá que enfrentar y los especialistas afirman que se necesita un trabajo a largo plazo, y que solo hay que crear conciencia entre la ciudadanía. Es decir, racionar el uso del agua para los distintos ámbitos: doméstico, riego e industrial.

En algunos países ya están implementando sistemas para el uso eficiente de las aguas, tales como: reciclaje de aguas lluvias y de aguas grises.

El agua lluvia es un componente esencial del ciclo hidrológico. Además en muchas partes del mundo es posible disponer de este recurso en cantidades para el consumo humano.

## 5. Sistema de aprovechamiento de Agua Lluvia

El sistema de captación de agua lluvia consiste en interceptar el agua antes de continuar en el ciclo natural, para su aprovechamiento en diferentes usos. La superficie generalmente es la techumbre, donde se minimiza la contaminación. Todos los sistemas tienen básicamente tres componentes: superficie de captación, sistema de conducción y depósito de almacenamiento, pero dependiendo de su complejidad y uso, estos pueden tener adicionales: Sistema de distribución (por gravedad o por bombeo) y el tratamiento (desinfección), por lo tanto, implica mayores costos.

Desde el comienzo de la civilización, el hombre ha aprovechado como primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte, el agua superficial, es por eso, que las civilizaciones se encuentran cerca de los ríos para poder realizar sus cultivos. En paralelo en otras zonas comenzaron a utilizar el agua lluvia como alternativa de riego. En la historia se han utilizado diferentes formas de captación de aguas lluvia, además es una práctica ancestral, estas técnicas fueron aplicadas en Palestina y Grecia hace 4.000 años y en el sur de Asia durante los últimos 8.000 años, sin embargo, estas tecnologías sólo se comenzaron a estudiar recientemente.

En la antigua Roma, las viviendas de clases altas conocidas como Domus, contaban con un estanque en el Atrium o patio situado en la entrada de la casa, el impluvium, que almacena las aguas lluvias que recoge el compluvium, abertura en el centro de la cubierta con pendiente orientado hacia el interior. El agua recogida era utilizada para consumo y para refrescar el ambiente. Fig. 5.-



Figura 5. Compluvium en viviendas, Roma

Hoy los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia son producto de las necesidades del ser humano, de los recursos disponibles (precipitación, materiales de construcción) y de las condiciones climáticas de cada región. Esta técnica es practicada en muchas culturas en regiones húmedas y áridas, en contexto de pobreza y de riqueza.

En Tokio, Japón, existen sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias llamadas: “Ronjinson” que se encuentran en vía pública del distrito de Mukojim. Este consiste en recibir el agua lluvia del techo, el cual es almacenado en un pozo subterráneo, y para su extracción se utiliza una bomba manual. La aplicación de estas aguas es para el riego de jardines, aseo en general y combatir incendios. Fig. 6.-

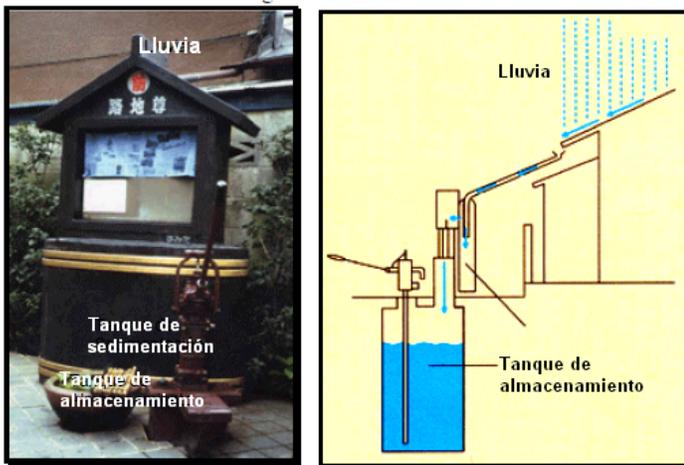


Figura 6. "Ronjinson", instalación para la utilización de aguas lluvias en Tokio, Japón

En Estados Unidos, los sistemas de aprovechamiento son muy utilizados, como es el caso de los Estados de: Hawaii, Washington, Nuevo México, Texas, Virginia y las Islas Vírgenes, entre otros. Se estima que hay más de medio millón de personas estadounidenses que utilizan sistemas de aprovechamiento de agua lluvia para uso doméstico, agrícola, comercial o industrial.

## 6. Ejemplos contemporáneos de aplicación de reciclaje de Agua Lluvia

En la actualidad se están construyendo edificios con reutilización de recursos naturales como es el agua y la generación de energía eléctrica para su propio consumo. Dentro de la tendencia en la infraestructura están los "edificios inteligentes" que deben ser autosuficientes en la generación de energía y abastecimiento de agua.



Figura 7. Torre Hearst, Nueva York

La torre Hearst tiene 182 metros de altura, con 46 niveles en total. Fue diseñada para un consumo altamente eficiente de energía y administración del uso del agua. El diseño permite recolectar 14 mil galones de agua lluvia en un tanque que se encuentra en el sótano y su utilización es para reemplazar el agua que se pierde en la evaporación del sistema de aire acondicionado y alimentar el sistema de riego de plantas interiores y árboles de la avenida. Se calcula que este sistema permitirá rebajar un 25% en el consumo. Además la lluvia recolectada también será aprovechada en el ice-fall (escultura de agua ubicada en el lobby) con el fin de enfriar el ambiente. Fig. 7.-

En estos últimos años, cada vez se habla más del aprovechamiento de agua lluvia, y no solo por motivos medioambientales sino también por motivos económicos.

El consumo promedio de agua por persona es aproximadamente 150 litros diario. Sin embargo, la mitad de dicho consumo se destina al inodoro, lavadora, limpieza en general y riego, que no necesariamente tiene que ser con la calidad del consumo humano, por lo tanto una medida eficaz de disminuir y ahorrar el consumo de agua potable es implementar sistema de aprovechamiento de agua lluvia, es decir, recoger el agua de los tejados y almacenarlo en un tanque para posteriormente destinarle el uso correspondiente.

## 7. Diseño

Para el diseño del sistema se debe tener presente, que el agua lluvia suele ser captada en meses precisos y que debe conservarse para ser utilizada durante el periodo posterior, por ende, es importante la calidad del agua.

El sistema de captación de agua lluvia está compuesto básicamente por los siguientes componentes: Fig. 8.-

- Superficie de captación
- Sistema de conducción (canales y tuberías)
- Interceptor de primeras aguas (Filtro)
- Depósito de almacenamiento
- Sistema de gestión y control. Aparato imprescindible para informar la reserva de agua de lluvia y conmutar con el agua de la red cuando sea necesario.



Figura 8. Sistema básico de captación de aguas lluvias  
Fuente: Guía de Diseño para Captación de Agua de Lluvia.  
CEPIS, 2004.

## 8. Superficie de captación

El área de captación es la superficie destinada para recibir las aguas lluvias. Generalmente se utiliza la techumbre de las viviendas para la recolección, donde además para facilitar su escurrimiento, es necesario considerar pendientes adecuadas. También debe ser de fácil limpieza para su posterior mantención.

## 9. Sistema de conducción

El sistema de conducción se refiere al conjunto de canaletas (tuberías) que conducen el agua lluvia desde el área de captación hasta el lugar de almacenamiento. Generalmente se utilizan canaletas de PVC para la conducción, ya que es un material liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí para evitar fugas. Fig. 9.-

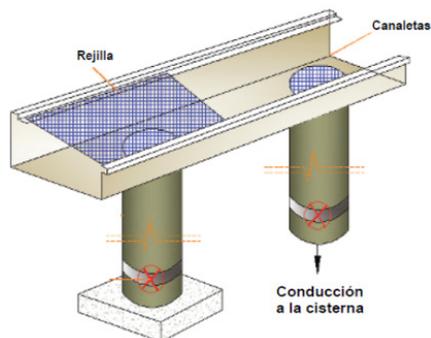


Figura 9. Canaletas con malla para evitar el ingreso de hojas

Se debe diseñar el sistema de conducción (canaletas, bajadas, prefiltros en las bajadas y las conducciones hasta el depósito de almacenamiento), con la suficiente capacidad para que las lluvias de intensidad no sobrepasen la capacidad de conducción desde los techos hasta el depósito, para no perder agua lluvia. (Normas básicas para el manejo de los recursos hídricos en el ámbito rural para consumo humano, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2008).

## 9. Interceptor de primeras aguas

El prefiltro es el proceso para separar las partículas sólidas del agua. Cuando el agua es captada en los techos, se debe instalar un tanque para almacenar temporalmente las primeras aguas lluvias contaminadas por basuras, hojas de árboles, para utilizarla en riego u otra aplicación que no requiera una alta calidad del agua.



Figura 10. Tanque de recepción de las primeras lluvias

## 10. Deposito de almacenamiento

Dentro de los depósitos de almacenamiento para aguas lluvias se encuentran las cisternas o tanques. Estas pueden ser de plástico, metales, de ferro-cemento, de concreto reforzado o de madera. El almacenamiento debe ser impermeable para evitar la pérdida de agua. Fig. 10.-, Fig. 11.-

El depósito es el componente del sistema que determina la capacidad de almacenamiento de agua, es decir, la cantidad máxima que podrá ser aprovechada en un momento determinado. Además este elemento es lo más caro del sistema ya que debe cumplir con un óptimo almacenamiento, impidiendo el ingreso de luz solar y el calor que pueda generar problemas de proliferación de microorganismos no deseados.

Además es importante dimensionarlo correctamente, de manera que se pueda aprovechar el máximo de agua posible, sin sobredimensionar el equipo incurriendo en costos innecesarios. Por lo tanto, se debe realizar un estudio que contemple la pluviometría histórica de la zona. Tabla 1.-



Figura 11. Cisterna prefabricada de plástico

Existen varias empresas que fabrican y venden cisternas de plástico u otros materiales. En este caso simplemente se excava una fosa (o se colocan encima del suelo como tanques) y se inserta la cisterna prefabricada. Esto tiene la ventaja de una larga duración y menor costo de instalación.

Dentro de los sistemas existentes de captación de aguas lluvias está el sistema Graf. La Empresa Otto Graf ha desarrollado soluciones eficientes y de alta calidad desde hace 45 años. Además es el líder en ventas en sistema de recuperación de aguas lluvias en Europa.

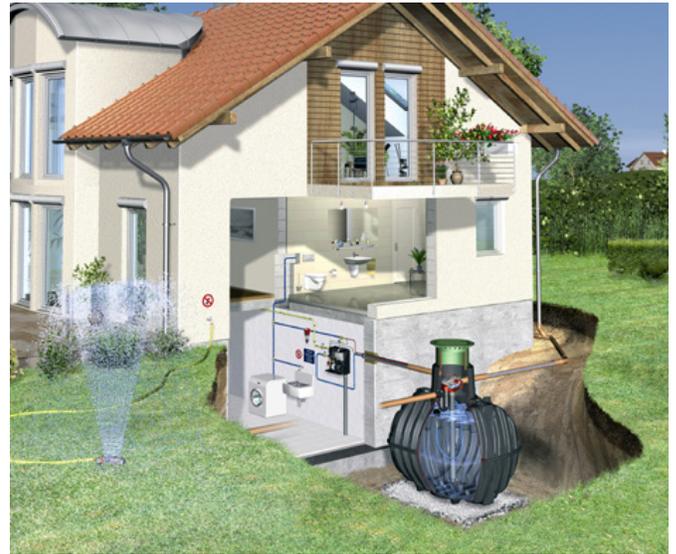


Figura 12. Sistema GRAF

La instalación de un sistema de aprovechamiento de aguas pluviales es un sistema complementario para ahorrar el consumo de agua potable, ya que dependiendo de las condiciones climáticas, la cantidad de aguas recolectadas puede variar. Tabla 1.-

Año	Meses	Promedio (mm)
2005	Agosto - Diciembre	550,2
2006	Enero - Diciembre	1543,4
2007	Enero - Diciembre	977,9
2008	Enero - Diciembre	1105,2
2009	Enero - Diciembre	1328,4
2010	Enero - Julio	557,2
	<b>Promedio (mm)</b>	<b>1212,46</b>

Con respecto al diseño del sistema, los depósitos de almacenamiento pueden ir instalados en superficie o enterrados en función de las necesidades y limitaciones del usuario para elegir uno u otro tipo de depósito. Se suele optar por elegir depósito enterrado, ya que mejora considerablemente las condiciones de almacenamiento de agua al minimizar el ingreso de rayos de luz y calor. Sin embargo el optar por esta elección, implica un incremento en los costos de la instalación.

Se puede implementar este sistema que sirve para una sola vivienda, sea aislada o adosada. Las dimensiones para estos casos no suelen ser excesivas teniendo en cuenta el número de usuarios. En cambio, cuando el sistema es destinado a aplicaciones colectivas (edificios) entonces la instalación se hace más compleja.

Para una vivienda que está en proceso constructivo no presenta mayores problemas para la instalación de dicho sistema, sin embargo, para construcciones existentes pueden presentar algunas complicaciones debido al limitado espacio disponible para colocar el depósito de almacenaje de aguas lluvias y las dificultades para instalar los conductos de agua. La dificultad de combinar las instalaciones de conductos de aguas lluvias (necesarias para el uso en el interior de viviendas) con los conductos preexistentes de agua potable de red es una de estas dificultades.

Antes de llevar a cabo el diseño, se deben definir los usos para las aguas recogidas:

1. Riego de jardín y lavado de autos.
2. Riego de jardín, lavado de autos, WC y lavado de ropas.
3. Riego de jardín, lavado de autos, WC, lavado de ropas y consumo humano.

Los de usos simples como el riego de jardín, lavado de autos, WC y lavado de ropas, no requieren tratamiento a las aguas, ya que no se destinan al consumo humano. En cambio cuando son para usos complejos, si necesitan ser tratadas, ya que serán destinadas al consumo humano.

Para determinar la capacidad óptima del depósito de almacenamiento, según el Catálogo de sistema de recuperación de agua lluvia GRAF (Empresa Otto GRAF, 2009) se necesita lo siguiente:

Precipitación promedio anual de la zona donde se instala el depósito. Calculada del promedio entre todas las precipitaciones mensuales. Tabla 1.-

Superficie de recogida de agua: Área en planta del edificio donde se recoge el agua lluvia (No se tiene en cuenta la inclinación del tejado).

Necesidades de agua que se desean cubrir: Volumen de agua para cubrir las necesidades.

Se debe calcular el volumen de agua que se puede recoger, el cual se determina con la ecuación:

Donde,

AR = Agua Recogida (L/año)

PPA= Pluviometría Promedio Anual((L/m<sup>2</sup>)/año).

C=Cubierta (m<sup>2</sup>)

F= Factor de aprovechamiento

El factor de aprovechamiento o coeficiente escurrimiento depende del material de la cubierta en donde se recogerán las aguas. Para el tejado y lámina metálica será de 0,9, para hormigón y grava será de 0,8 y para cubierta ajardinada será de 0,5.

Además de estimar la cantidad de agua que se puede recolectar, hay que calcular la demanda de agua para cubrir las necesidades en litros por año de la vivienda:

WC: 46 (L/día) x N° personas x 365 (días/año) (L/año)

Para efectos del cálculo, se considera el número de personas por vivienda igual a 4.

Riego de Jardín: 540 (L/m<sup>2</sup>)/año x m<sup>2</sup> (L/año)

Los 540 litros se obtienen de la siguiente forma: el consumo de agua en el riego del jardín en los meses de verano es aproximadamente 6 L/m<sup>2</sup> por día y considerando como meses de verano igual a 3 meses.

Lavado de auto: 90 (L/mes) x 12 (meses/año) (L/año)

Si el consumo de agua para el lavado de auto es de 3 L/día, entonces, el consumo mensual sería alrededor de 90 litros. (Considerando el lavado del auto una vez al mes).

Lavado de ropa: 17 (L/día) x N° personas x 365 días/año (L/año)

Consumo humano (cocina): 10% del consumo total (Fuente: Superintendencia de Servicios Sanitarios)

= 15 (L/día) x N° personas x 365 (día/año) (L/año)

Una vez determinada la demanda de agua, se suman todas las necesidades y se obtiene la cantidad total anual de agua en litros. Para finalizar el cálculo de la dimensión del depósito, se determina según la ecuación, en donde se busca la media entre el agua que se puede recoger y el agua que se necesita en un año. Y el período de reserva es el tiempo que tiene agua disponible sin que llueva.

$$VD = \left( \frac{APR + AN}{2} \right) \times \left( \frac{21 \text{ días (PR)}}{365 \text{ días}} \right)$$

VD=Volumen Depósito

A P R = Agua que se puede recoger

AN= Agua que se necesita

PR= Periodo de reserva

El multiplicar por 21 en la ecuación proporciona un factor de seguridad para las épocas de escasas lluvias y al dividir por 365 días al año, se obtiene la capacidad del depósito en litros para cubrir tanto la demanda mensual como para almacenar el agua promedio entre todos los meses del año, y para que el sistema alcance el mayor rendimiento posible. Se recomienda además elegir la dimensión del depósito superior a la obtenida (Aumentar el valor en 1 o 2 dígitos en su capacidad en m<sup>3</sup>), ya que debido al régimen de lluvias irregular conviene tener capacidad para almacenar las lluvias intensas. (Alvarado, 2010)

La potencia para la bomba varía en función de la longitud de los conductos, de la altura desde donde se bombea. Para determinar la altura desde la que se bombea, se necesita tener en cuenta las pérdidas de carga. Según RIDDA, "No aceptándose sobre el punto de salida del artefacto situado más desfavorablemente, una presión menor a 7 m.c.a cuando se abastece desde medios mecánicos, ni velocidad superior a 2,5 m/s en las tuberías exteriores y de distribución principal y 2 m/s en las tuberías de la red interior."

## 11. Diseño tipo según los usos de las aguas recogidas

Para llevar a cabo el diseño de sistemas de reciclaje de aguas lluvias se considera como base las características de una vivienda que ofrece la empresa Inmobiliaria y Constructora Socovesa en Temuco. La empresa Socovesa es una de las inmobiliarias más grandes del país. Y desde el año 1965 se encuentra presente en la ciudad de Temuco. Tiene una gran variedad de proyectos con diferentes modelos de viviendas nuevas. Para efecto de este estudio, se tomará como ejemplo la vivienda:

Santa María, Labranza. (1 baño)

### 11.1.- Prefiltro

El prefiltro es un sistema de filtro que se coloca antes de almacenar el agua en el depósito. Éste puede estar instalado en el trayecto de la conducción o al final del mismo. Pueden ser rejillas para retener grandes sólidos como piedras, basuras y hojas. También se puede colocar en esta fase mallas para retener las partículas más finas. El objetivo del prefiltro es evitar al máximo posible la entrada de basura, materia orgánica y otros contaminantes al depósito. Además reduce los costos de cualquier filtración posterior que se quiera hacer. Hay que evitar colocar rejillas con aberturas muy finas en las canaletas, ya que si se obstruyen podrían ocasionar exceso de agua en los techos, al no permitir que el agua fluya rápidamente por la tubería. Como solución a este problema, se puede instalar un tanque de prefiltro como trampa de basura para las primeras lluvias, antes de ingresar al depósito de almacenamiento. Fig. 13.-



Figura 13. Tanque de prefiltro

### 11.2. Filtro

Este elemento pasa a ser importante en caso que el agua recogida sea utilizada para el consumo humano. Ya que si sólo se requiere el agua para el riego y lavado de auto, entonces basta contar con un prefiltro.

El objetivo de éste es eliminar las partículas más finas y sustancias químicas disueltas que pudieran ser nocivas. En el caso de que el agua se destine al uso potable, se deberá eliminar o reducir el color, olor y sabor del agua, así también la presencia de sales y minerales.

Existen filtros comercialmente disponibles, y su elección dependerá específicamente del material filtrante. Dentro de los materiales de filtración están los siguientes:

**Filtro de Carbón Activado:** Puede ser del tipo granular que viene en forma de polvo, gránulos o bloque sólido de carbón. Éste permite eliminar el color, olor y sabor del agua, además del cloro y algunos compuestos químicos. Este sistema es similar al filtro de arena.

**Filtro de Arena:** Es el más utilizado para filtración de aguas con bajas o medianas contaminantes, que requieran una retención de partículas de hasta 20 micras de tamaño. Las partículas en suspensión que lleva el agua son retenidas durante su paso a través de un lecho filtrante de arena. La calidad de la filtración depende de varios parámetros, la forma del filtro, altura del lecho filtrante, características y granulometría de la masa filtrante, velocidad de filtración, etc.

### 11.3 Desinfección

En caso de potabilizar el agua lluvia, se debe tomar en cuenta la desinfección, ya que el prefiltro y filtro no son suficientes para eliminar las bacterias o microorganismos. La desinfección consiste en eliminar los microorganismos vivos patógenos (que pueden causar enfermedades) como por ejemplo algas, hongos, bacterias y virus. Es necesario, por ende, desinfectar el agua. Este proceso se realiza después de la filtración fina o directamente en la cisterna. En caso de utilizar el agua en el riego (que no impliquen contacto humano), la desinfección puede ser menor o nula.

Dentro de la desinfección, los métodos más utilizados son los siguientes:

Hipoclorito (de sodio o calcio):

El hipoclorito de sodio es un líquido amarillento con una concentración de cloro activo de 10 a 15%. Y el hipoclorito de calcio que es más estable que el hipoclorito de sodio y contiene una mayor concentración de cloro activo (30 a 75%). Los dos sirven para aumentar el pH del agua. La cloración es un método bastante efectivo, económico y simple para desinfectar el agua, pero requiere un manejo cuidadoso, ya que en exceso puede afectar a la salud y al medio ambiente.

### 11.4. Diseño tipo para reciclaje de aguas lluvias para riego de jardín y lavado de autos.

Si sólo se pretende utilizar el agua recogida para riego del jardín y lavado de autos, el sistema a implementar es bastante sencillo, ya que no es necesario que la calidad del agua sea óptima, además estas aguas no necesitan ser evacuadas a la red de alcantarillado de la vivienda, ya que serán absorbidas directamente por el terreno, por lo tanto, no hay que instalar un remarcador para registrar la cantidad de agua suministrada a la red, es decir, no habrá un costo adicional de alcantarillado por el uso de las aguas lluvias. De lo anterior, el diseño de este sistema para este propósito es muy simple.

Con respecto al depósito de almacenamiento, éste puede ir enterrado o sobre la superficie y el sistema de conducción (canales y bajadas de aguas lluvias) sólo tiene que tener un prefiltro que permita filtrar las partículas sólidas como son las hojas de árboles y basuras antes de ser ingresado al estanque y tener un rebalse que permita evacuar el agua hacia el terreno en caso de llenarse el depósito. En caso de que el depósito fuese enterrado, se requiere una bomba de impulsión para elevar las aguas a los puntos de consumo. La potencia de esta bomba varía en función de la longitud de los conductos, de la altura desde la que se bombea y del caudal máximo probable. Además de considerar una bomba de impulsión, se puede contemplar un equipo hidroneumático, que tiene como función mantener la presión constante, permitiendo que el agua salga a la presión y flujo adecuado.

El reemplazar el uso de agua potable por agua lluvia para el riego, entrega diversas ventajas: el pH del agua lluvia es el más adecuado para las diferentes especies vegetales. Un pH inferior (ácido) o superior (alcalino) puede ser dañino para las plantas. Además, utilizar el agua lluvia para el riego de jardín y lavado de auto, permite un ahorro en el consumo de agua potable.

A continuación, se presenta un diseño esquemático de reciclaje de aguas lluvias para el riego del jardín y lavado de auto en casa. Fig. 14.-

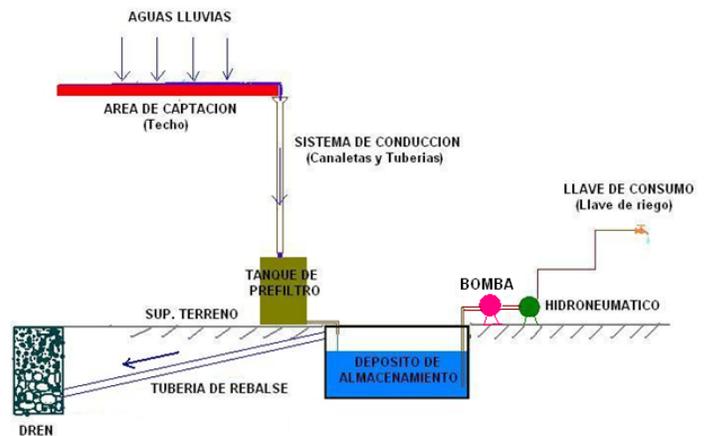


Figura 14. Diseño Esquemático de Reciclaje de Aguas Lluvias para Riego de jardín y Lavado de Autos con sus componentes necesarios

### 11.5. Diseño tipo para reciclaje de aguas lluvias para riego de jardín, lavado de autos, wc y lavado de ropas.

Aparte de utilizar el agua en el riego y lavado de autos, también se puede usar para el llenado de estanques de WC y lavado de ropas, sin embargo, para estos propósitos aún no se necesita potabilizar el agua recogida. Se estima que para cada descarga de las cisternas de los inodoros se necesita entre 6 a 12 litros y el consumo total destinado para WC es aproximadamente de 46 litros y para lavado de ropas se consume alrededor de 17 litros de agua al día.

La instalación de un sistema de aprovechamiento de aguas pluviales para estos propósitos no tiene porque suplir totalmente determinados consumos, ya que muchas veces no es posible que el estanque cuente con la cantidad suficiente de aguas. Por lo tanto, el reciclaje de aguas lluvias puede ser un sistema paralelo a la red de agua potable de las viviendas. De esta forma, en períodos que no cuente con suficiente cantidad de agua almacenada, se podrá usar agua potable proveniente de la red.

Sin embargo, este sistema requiere de una mayor complejidad que el anterior para su diseño, ya que aparte de contar con un depósito de almacenamiento y prefiltro, también es necesario contar con un filtro más sofisticado (por ejemplo: filtro de piscina). Al igual que en el caso anterior, para conducir las aguas desde el depósito de almacenamiento a los puntos de consumo, es necesario contar con una bomba y un hidroneumático. Además se debe contar con un remarcador que permita registrar la cantidad de agua que ingresa, para que la empresa concesionaria de agua potable pueda cobrar el uso de alcantarillado. La instalación del remarcador debe ser de acuerdo con lo estipulado en las Normas Chilenas. Este debe ser colocado en posición horizontal, salvo aquellos expresamente fabricados para ser colocados en otras posiciones. Los diámetros de las tuberías ubicadas antes y después del remarcador deberán ser igual a lo menos en una extensión de 5 diámetros, o de acuerdo con las especificaciones del fabricante. (Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado, RIDDA.) El sistema debe incluir también un rebalse que permita sacar el agua del estanque hacia el terreno en caso de llenarse completamente éste. Para mayor claridad de este sistema, se presenta un diseño con los componentes. Fig. 15.-

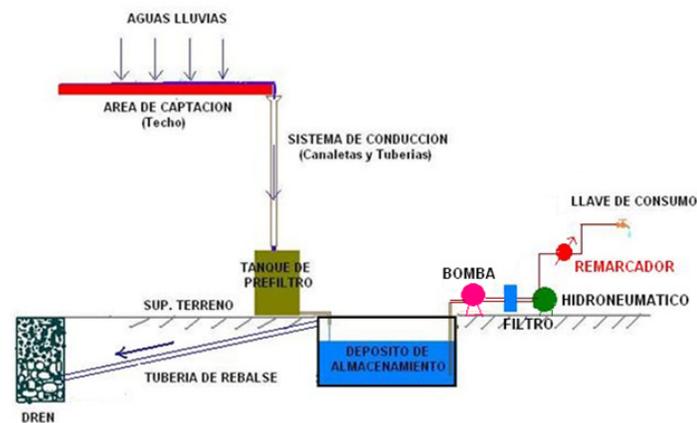


Figura 15. Diseño Esquemático de Reciclaje de Aguas Lluvias para Riego de Jardín, Lavado de Autos, WC y Lavado de Ropas con sus componentes necesarios.

### 11.6. Diseño tipo para reciclaje de aguas lluvias para riego de jardín, lavado de autos, wc, lavado de ropas y consumo humano.

Dentro de los sistemas de aprovechamiento, éste es el más complejo en comparación con los dos anteriores. Debido a que el propósito del reciclaje no solamente será destinado para riego del jardín, lavados y llenado de cisternas de WC, sino también para el consumo humano. Por lo tanto, es obligación tratar estas aguas, es decir, filtrar (Filtro con carbón activado) y desinfectar (con hipocloritos de sodio o calcio).

Al igual que en el caso anterior, el sistema no tiene que reemplazar completamente el suministro de agua potable de la red, sino que deben ser sistemas independientes en donde no mezclen las aguas lluvias con el agua potable de la red. Como solución, se puede instalar una válvula de retención en el sistema.

La potabilización del agua resulta ser un proceso complejo, además debe cumplir con normativas, debido a que la calidad que deben tener estas aguas es de mayor exigencia.



Figura 16. Diseño Esquemático de Reciclaje de Aguas Lluvias para Riego de Jardín, Lavado de Autos, WC, Lavado de Ropas y Consumo Humano con sus componentes necesarios

## 12. Ejemplo de diseño para un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para vivienda Socovesa.

### 12.1. Casa Santa María, Labranza.

Características de la casa: Fig. 17.-, Fig. 18.-

Casa de 56 m<sup>2</sup>. (Precio desde 920 UF)

Casa de 1 piso.

1 Baño.

Cocina.

Cubierta: Plancha zinc prepintado, con una superficie de 72 m<sup>2</sup> aprox.

Superficie áreas verdes: 79 m<sup>2</sup> aprox. (Variable según terreno)

Materialidad de bajada de aguas lluvias: PVC



Figura 17. Casa de 56 m<sup>2</sup>, Santa María, Labranza

El diseño del sistema de reciclaje de aguas lluvias para este tipo de vivienda es más pequeño, ya que son pocos los artefactos en donde se utilizará las aguas recogidas.

Lo primero que se debe tener en cuenta antes de diseñar, es la cantidad de aguas que se pueden recolectar, y para esto se llevan los datos a la ecuación para obtener la cantidad de agua recogida en Litros/año.

$$AR \left( \frac{L}{\text{año}} \right) = 1212,46 \left( \frac{L}{\text{m}^2 \text{ año}} \right) \times 72 \text{ (m}^2) \times 0,9$$

$$AR \left( \frac{L}{\text{año}} \right) = 78.567$$

AR = Agua recogida (L/año)

Además de estimar la cantidad de agua que se puede recolectar, se calcula la demanda de ésta para cubrir las necesidades en litros por año, según los usos que se quiere dar a las lluvias.

### 12.2. Diseño del sistema para riego del jardín y lavado de autos.

Mediante la ecuación se obtiene la cantidad de agua recogida al año. Para determinar el volumen del depósito, se necesita además estimar la demanda de agua para cubrir las necesidades del usuario.

En este caso la demanda de agua sería:

$$RJ \left( \frac{L}{\text{año}} \right) = 540 \left( \frac{L}{\text{m}^2 \text{ año}} \right) \times 79 \text{ (m}^2)$$

$$RJ \left( \frac{L}{\text{año}} \right) = 42.660$$

RJ= Riego Jardín

Y para el lavado del auto

$$LA \left( \frac{L}{\text{año}} \right) = 1.080 \left( \frac{L}{\text{año}} \right)$$

LA= Lavado de Auto



Figura 18. Planta Casa 56 m<sup>2</sup>, Santa María, Labranza



Luego mediante la ecuación, se obtiene el volumen estimado del estanque que se necesita.

La capacidad del depósito estimada sería:

$$VD = \left( \frac{78.567 + 43.740}{2} \right) \times \left( \frac{21 \text{ días (PR)}}{365 \text{ días}} \right) = 3.518 \text{ (L)}$$

VD= Volumen Depósito  
PR= Período de Reserva

Según el cálculo anterior, el volumen del estanque es de 3.518 litros, es decir, 3,5 m<sup>3</sup>. Pero se recomienda en este caso un volumen del estanque para almacenamiento de aguas lluvias de 5,4 m<sup>3</sup>, o sea 5.400 litros (Dimensión comercial).

Por último, para el diseño de esta vivienda usando agua lluvia para riego del jardín y lavado de autos se debe:

Mantener el sistema de canaletas y tuberías existentes de bajadas de agua.

Emplear tuberías de PVC de 3" de diámetro para conectar desde las bajadas de aguas lluvias hasta el depósito de acumulación.

Colocar rejillas (prefiltro) en los canales para impedir el ingreso de basuras y hojas.

Instalar un estanque de polietileno (enterrado) de 5.400 litros para el almacenamiento de aguas.

Considerar rebalse de tubería de PVC de 3" de diámetro, la cual permitirá conducir las aguas lluvias que rebalsa el estanque de acumulación hacia el terreno.

Consideras las cañerías de conducción de las aguas desde el estanque hacia los puntos de consumo serán de PVC hidráulico de 25mm en el exterior y las interiores de cobre de 3/4" (19mm).

Instalar una bomba de agua (conducir las aguas hacia el punto de consumo) y el equipo Hidroneumático.

Para determinar las características de la bomba, debe tener en consideración lo siguiente:

Gastos Instalados (Ver Anexo A)

Gasto Máximo Probable (Q.M.P)

$$Q. M. P \left( \frac{L}{\text{min}} \right) = 1,7391 \times (QI)^{0,6891}$$

Con la ecuación se obtiene el gasto máximo probable en litros por minuto. En este caso es de 22,09 L/min. Luego, para obtener la altura de presión, se hace mediante una planilla elaborada por la Empresa Koslan, para finalmente seleccionar el tipo de bomba adecuada y el hidroneumático.

Mediante las informaciones entregadas por la planilla de cálculo Koslan, la bomba adecuada para este sistema es la siguiente:

Bomba Periférica de Superficie:

Marca: Pedrollo.

Modelo: PKM60.

Voltaje: 220 V Monofásica.

Potencia: 0,5 HP.

Caudal Máxima: 40 L/min.

Conexión: 1" x 1".

Hidroneumático:

Marca: Varem.

Modelo: MOD.24.

Presión: 6 BAR.

Volumen: 24 L.

Conexión: 1".

### 12.3. Diseño del sistema para riego del jardín, lavado de autos, WC y lavado de ropas.

El diseño para aprovechar el agua lluvia para estos propósitos es más complejo, ya que hay más detalles a considerar. Para esta misma vivienda, si se quiere utilizar el agua para WC y lavado de ropas aparte del riego del jardín y lavado del auto, entonces el volumen del estanque debe ser mayor al calculado en el caso anterior, porque la demanda de agua incrementa.

Para este caso, mediante la ecuación se tiene la siguiente demanda:

$$RJ \text{ y } LA \left( \frac{L}{\text{año}} \right) = 43.740$$

RJ= Riego Jardín

LA= Lavado de auto

$$WC \left( \frac{L}{\text{año}} \right) = 46 \left( \frac{L}{\text{día}} \right) \times 4 \times 365 \left( \frac{\text{días}}{\text{año}} \right) = 67.160$$

$$LR \left( \frac{L}{\text{año}} \right) = 17 \left( \frac{L}{\text{día}} \right) \times 4 \times 365 \left( \frac{\text{días}}{\text{año}} \right) = 24.820$$

LR= Lavado de Ropas



Luego, la demanda total estimada es de 135.720 L/año. Por último con la ecuación se obtiene el volumen del depósito:

$$VD = \left( \frac{78.567 + 135.720}{2} \right) \times \left( \frac{21 \text{ días (PR)}}{365 \text{ días}} \right) = 6.164 \text{ (L)}$$

VD= Volumen Depósito

PR= Período de Reserva

Por lo tanto, para estos propósitos, el volumen del estanque estimado es de 6.164 litros, sin embargo, para evitar imprevistos, se opta por un estanque de 9.300 litros (Dimensión comercial).

Así, los componentes necesarios para el diseño final de esta vivienda usando el agua para riego del jardín, lavado de autos, WC y lavado de ropas son:

Sistema de canaletas y tuberías existentes de bajadas de agua.

Tuberías de PVC de 3" de diámetro para conectar desde las bajadas de aguas lluvias hasta el depósito de acumulación.

Filtro para las partículas más finas.

Rejillas (prefiltro) en los canales para impedir el ingreso de basuras y hojas.

Tanque de menor capacidad como prefiltro.

Estanque de polietileno (enterrado) de 9.300 litros para el almacenamiento de aguas.

Rebalse en tubería de PVC de 3" de diámetro que permitirá conducir las aguas lluvias que rebalsa el estanque de acumulación hacia el terreno.

Cañerías de PVC hidráulico de 25mm en el exterior y las interiores de cobre de 3/4" (19mm) para la conducción de las aguas desde el estanque hacia los puntos de consumo.

Bomba de agua y el equipo Hidroneumático.

Bomba Periférica de Superficie:

Marca: Pedrollo.

Modelo: PKM65.

Voltaje: 220 V Monofásica.

Potencia: 0,70 HP.

Caudal Máxima: 50 L/min.

Conexión: 1" x 1".

Hidroneumático:

Marca: Varem.

Modelo: MOD.60H.

Presión: 10 BAR.

Volumen: 60 L.

Conexión: 1".

Remarcador para registrar la cantidad de agua que ingresa al sistema, y posteriormente calcular los costos de alcantarillado.

Remarcador de agua 1/2" con unión. Marca: Actaris.

## 12.4. Diseño del sistema para riego del jardín, lavado de autos, WC, lavado de ropas y consumo humano.

Este sistema es el más sofisticado en comparación con los dos anteriores y sus componentes requieren mayor complejidad. Dentro de este sistema, se deben tener en cuenta los procesos de potabilización de agua, es decir, la filtración y desinfección de la lluvia, mediante un buen filtro como el de carbón activado para eliminar el color, olor y sabor, y la desinfección (cloro que elimina o reduce bacterias, microorganismos).

Como demanda de agua para estos propósitos, se tiene lo siguiente:

$$RJ, LA, WC \text{ y } LR \left( \frac{L}{\text{año}} \right) = 135.720$$

Y para el consumo humano:

$$CH \left( \frac{L}{\text{año}} \right) = 15 \left( \frac{L}{\text{día}} \right) \times 4 \times 365 \left( \frac{\text{días}}{\text{año}} \right) = 21.900$$

RJ= Riego Jardín

LA= Lavado de auto

WC= WC

CH= Consumo Humano

Entonces, la demanda final calculada es de 157.620 L/año. Para el cálculo final del volumen del estanque, se usa la ecuación.

$$VD = \left( \frac{78.567 + 157.620}{2} \right) \times \left( \frac{21 \text{ días (PR)}}{365 \text{ días}} \right) = 6.794 \text{ (L)}$$

VD= Volumen Depósito

PR= Período de Reserva

Es decir, el tamaño estimado del depósito es de 6.794 litros aproximadamente, pero se prefiere la opción de un estanque de 9.300 litros (Dimensión comercial), para mayor seguridad frente cualquier problema climático.

Finalmente, el diseño de este sistema es el siguiente:

- Se debe mantener el sistema de canaletas y tuberías existentes de bajadas de agua (de PVC).
- Emplear tuberías de PVC de 3" de diámetro para conectar desde las bajadas de aguas lluvias hasta el depósito de acumulación.
- Instalar un filtro sofisticado (filtro y desinfección)
- Colocar rejillas (prefiltro) en los canales para impedir el ingreso de basuras y hojas.
- Instalar un tanque de menor capacidad como prefiltro.
- Instalar estanque de polietileno (enterrado) de 9.300 litros para el almacenamiento de aguas.
- Considerar rebalse en tubería de PVC de 3" de diámetro, (permite conducir las aguas lluvias que rebalsa el estanque al terreno).
- Instalar las cañerías de conducción de las aguas desde el estanque hacia los puntos de consumo, PVC hidráulico 25mm en el exterior y las interiores cobre 3/4" (19mm).

- Instalar bomba de agua (conducir las aguas hacia el punto de consumo) y el equipo Hidroneumático.

Para determinar las características de la bomba, se debe tener en cuenta lo siguiente:

$$Q.M.P \left( \frac{L}{min} \right) = 1,7391 \times (QI)^{0,6891}$$

**Q.M.P = Gasto Máximo Probable**

Con la ecuación se obtiene el gasto máximo probable en litros por minuto. Según este caso es de 34,70 L/min. Y con la planilla Koslan se obtiene la bomba adecuada para este sistema.

**- Bomba Periférica de Superficie:**

Marca: Pedrollo.  
Modelo: PKM70.  
Voltaje: 220 V Monofásica.  
Potencia: 0,85HP.  
Caudal: 50 L/min.  
Conexión: 1" x 1".

**- Hidroneumático:**

Marca: Varem.  
Modelo: MOD 60H.  
Presión: 10 BAR.  
Volumen: 60 L.  
Conexión: 1".

- Instalar remarcador de 1/2" para registrar la cantidad de agua que ingresa al sistema.

**13. Estimación de costos y periodo de amortización al implementar el sistema de reciclaje de aguas lluvias.**

Cuando se habla de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, no se debe pensar en gastos, sino en inversiones, ya que el concepto de recolectar aguas pluviales, permite crear condiciones distintas a las del derroche de los recursos hídricos. Sin embargo la limitante a considerar es la inversión del usuario, por lo tanto, es importante elegir los componentes para un mayor beneficio con la menor inversión.

Para estimar los costos de implementación y el retorno de la inversión, se analizará cada tipo de uso propuesto. Los plazos de recuperación de la inversión están en función de ésta y del uso adecuado de las aguas. Además la implementación del sistema implicará ahorros y un impacto ambiental positivo.

Con respecto al costo, es necesario considerar el coeficiente de recuperación, este coeficiente refleja el porcentaje de agua consumida (potable y de fuentes propias), que se descarga al alcantarillado. Además este coeficiente permite obtener ahorro en alcantarillado para el caso de implementar riego y lavado de autos.

En general, el coeficiente de recuperación está comprendido entre 0,7 y 1,0 (70% a 100%); donde el valor aplicado debe estar debidamente justificado por el proyectista. (NCh 1105, 2008: Ingeniería Sanitaria – Alcantarillado de Aguas Residuales – Diseño y Calculo de Redes).

**13.1. Estimación de costos de implementación.**

Para estimar los costos de la inversión, primero se debe tener en cuenta cual será el uso que se le va a dar a las aguas, ya que, los equipos y materiales del sistema varían y también sus costos. En el caso de implementar el sistema de aprovechamiento sólo para riego y lavado de autos, este es más económico que para el consumo humano.

**13.2. Costos de implementación para riego de jardín y lavado de autos.**

Para estimar el costo de implementación (inversión) del sistema para riego y lavado de autos, se analizará el modelo de vivienda ya descrito.

Para las casas de Santa María de Labranza, el costo se muestra en la tabla 2.

PRESUPUESTO SANTA MARÍA 1					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANT.	P.U	TOTAL
1	Excavación	m3	13	\$ 5.095	\$ 66.241
2	cama de apoyo y relleno lateral	m3	5,2	\$ 10.466	\$ 54.425
3	Previsión e instalación de estanque y rebalse	GL	1	\$ 518.984	\$ 518.984
4	Tubería PVC 75mm	ml	8	\$ 5.294	\$ 42.353
5	Tubería PVC 25mm	ml	12	\$ 1.386	\$ 16.628
6	Rejilla para canaletas de agua lluvia	m2	2	\$ 5.566	\$ 11.132
7	Instalación equipos	GL	1	\$ 131.280	\$ 131.280
<b>C.D</b>					<b>\$ 841.043</b>
<b>I.V.A (19%)</b>					<b>\$ 159.798</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 1.000.841</b>

Tabla 2.- Costo Santa María de Labranza RJ y LA

### 13.3 Costos de implementación para riego de jardín, lavado de autos, WC y lavado de ropas.

El costo de implementación para estos propósitos a diferencia de los anteriores, incluye los siguientes equipos: remarcador y filtro común. Para las casas de Santa María, el costo se muestra en la tabla 3.

PRESUPUESTO SANTA MARÍA 2					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UN.	CANT.	P.U	TOTAL
1	Excavación	m3	19	\$ 5.095	\$ 96.814
2	cama de apoyo y relleno lateral	m3	3,2	\$ 10.466	\$ 33.492
3	Previsión e instalación de estanque y rebalse	GL	1	\$ 518.984	\$ 518.984
4	Tubería PVC 75mm	ml	8	\$ 5.294	\$ 42.353
5	Tubería PVC 25mm	ml	20	\$ 170	\$ 3.409
6	Cañería de cobre 3/4"	ml	0,7	\$ 18.154	\$ 12.708
7	Rejilla para canaletas de agua lluvia	m2	2	\$ 5.566	\$ 11.132
8	Instalación equipos	GL	1	\$ 506.988	\$ 506.988
<b>C.D</b>					<b>\$ 1.225.880</b>
<b>I.V.A (19%)</b>					<b>\$ 232.917</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 1.458.797</b>

Tabla 2.- Costo Santa María de Labranza RJ y LA

### 13.4 Costos de implementación para riego de jardín, lavado de autos, WC, lavado de ropas y consumo humano.

La estimación de costos de implementación para estos usos es mayor, ya que deben instalar equipos y componentes de mejor prestación, tales como un sistema de filtración (con carbón activado) y desinfección (con hipocloritos) para las aguas recolectadas, para permitir el consumo humano.

El costo de implementación de la casa Santa María, se presenta en la tabla 4.

PRESUPUESTO SANTA MARÍA 3					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UN.	CANT.	P.U	TOTAL
1	Excavación	m3	19	\$ 5.095	\$ 96.814
2	cama de apoyo y relleno lateral	m3	3,2	\$ 10.466	\$ 33.492
3	Previsión e instalación de estanque y rebalse	GL	1	\$ 518.984	\$ 518.984
4	Tubería PVC 75mm	ml	8	\$ 5.294	\$ 42.353
5	Tubería PVC 25mm	ml	22	\$ 1.386	\$ 30.485
6	Cañería de cobre 3/4"	ml	1,4	\$ 18.154	\$ 25.416
7	Rejilla para canaletas de agua lluvia	m2	2	\$ 5.566	\$ 11.132
8	Instalación equipos	GL	1	\$ 659.788	\$ 659.788
<b>C.D</b>					<b>\$ 1.418.463</b>
<b>I.V.A (19%)</b>					<b>\$ 269.508</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 1.687.971</b>

Tabla 4.- Costo Santa María de Labranza RJ, LA, WC, LR y CH

### 14. Amortización de la inversión

El período de amortización depende de la inversión de implementación del sistema como se mencionó anteriormente. El período puede ser a largo, mediano o corto plazo, dependiendo del ahorro que se genera en el consumo y la inversión inicial. Para una mejor evaluación del período de retorno, se hará según la estimación de la demanda y costos de agua potable como también la inversión. Una vez obtenido el ahorro mensual de agua potable, se estimarán los años en que se recuperaría la inversión, lo cual se realizará con una ecuación sencilla despejando el variable X de los años. Además, cabe mencionar que los datos y forma de cálculo aplicadas en este estudio de factibilidad económica en la demanda de agua, ahorro y período de retorno de la inversión son a modo de ejemplo, ya que sólo se pretende mostrar numéricamente el diseño e impacto económico del sistema en la edificación, en este caso, las viviendas de Santa María. Si se desea obtener un análisis más detallado en la factibilidad económica, se necesitará de un estudio más elaborado para medir cada uno de los parámetros, logrando así datos más reales.

$$A \frac{\$}{\text{mes}} \times 12 \text{ mes} \times X \text{ años} = \text{inversión}$$

X años = Años

A = Ahorro

#### 14.1. Amortización costos de implementación de sistema de reciclaje para riego y lavado de autos

Cantidad de aguas que se puede recolectar = 78.567 L/año.

Según las cantidades de aguas recolectadas en este modelo, se puede decir que el reemplazo del agua potable para estos usos es total, por lo tanto, el ahorro que se genera será del 100%.

Los costos en agua potable del riego y lavado de autos para este modelo de casa son los siguientes:

El consumo de agua potable para el riego y lavados de autos = 43.740 L/año, es decir, 3.645 L/mes. Si se considera el costo de agua potable por m<sup>3</sup>, que tiene un valor de \$345,6 (Fuente: Aguas Araucanía S.A). Entonces, los gastos mensuales en agua potable serán de:

$$CAP \left( \frac{\$}{\text{mes}} \right) = 3,645 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \right) \times 345,6 \left( \frac{\$}{\text{m}^3} \right)$$

$$CAP \left( \frac{\$}{\text{mes}} \right) = 1.260$$

CAP = Costo Agua Potable

Luego se calcula el ahorro en el costo de alcantarillado, que según las tarifas de Aguas Araucanía S.A, el valor es de \$471,9/m<sup>3</sup>. Considerando como coeficiente de recuperación el 90%, entonces, se tiene lo siguiente:

$$CAL \left( \frac{\$}{\text{mes}} \right) = 3,645 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \right) \times 471,9 \left( \frac{\$}{\text{m}^3} \right) \times 0,9$$

$$CAL \left( \frac{\$}{\text{mes}} \right) = 1.548$$

CAL = Costo Alcantarillado

Por lo tanto, el ahorro que se generaría en el consumo al mes será de \$2.808 pesos.

Y con la inversión estimada de la tabla 2 (\$ 1.000.841 pesos) se calcula mediante la ecuación para obtener el período de amortización:

$$2.808 \frac{\$}{\text{mes}} \times 12 \text{ mes} \times X \text{ años} = \$1.000.841$$

$$X (\text{años}) = 29,7 \text{ años}$$

Con el cálculo obtenido, se estima que en un período aproximado de 29 años y 8 meses se recuperaría la inversión total del sistema.

#### 14.2 Amortización costos de implementación de sistema de reciclaje para riego, lavado de autos, WC y lavado de ropas.

Mediante el mismo análisis aplicado en el punto anterior, se estima el período de amortización para el riego, lavado de autos, WC y lavado de ropas, pero en este caso, el ahorro en costo de alcantarillado es cero, debido a que igual habrá un costo adicional por parte de la empresa concesionaria (Aguas Araucanía S.A) ya que se debe registrar la cantidad de agua que se va a incorporar al interior de la vivienda mediante el remarcador. Por lo tanto, habrá costo de alcantarillado.

Según las cantidades de aguas recolectadas, se puede decir que para este modelo, el reemplazo del agua potable por aguas lluvias es del 58% aproximadamente, y el resto seguirá siendo agua potable de la red. Por lo tanto, el ahorro en este caso sería de 58%.

El consumo de agua potable generado en esta casa = 135.720 L/año, es decir, 11.310 L/mes. Considerando el costo de agua potable por m<sup>3</sup>, el valor es \$345,6 (Fuente: Aguas Araucanía S.A). Entonces, los gastos mensuales en agua potable será de:

$$CAP \left( \frac{\$}{\text{mes}} \right) = 11,31 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \right) \times 345,6 \left( \frac{\$}{\text{m}^3} \right)$$

$$CAP \left( \frac{\$}{\text{mes}} \right) = 3.909$$

CAP = Costo Agua Potable

Sin embargo, el ahorro en este caso es del 58%, es decir, \$2.267 pesos al mes.

Luego, la inversión estimada según la tabla 3. (\$1.458.797 pesos). Y con la ecuación se obtiene el período de amortización:

$$3.909 \frac{\$}{\text{mes}} \times 12 \text{ mes} \times X \text{ años} = \$1.458.797$$

$$X (\text{años}) = 31,1 \text{ años}$$

Con el cálculo obtenido, se estima que en un período aproximado de 31 años y 1 mes se recuperaría la inversión total del sistema.

### 14.3 Amortización costos de implementación de sistema de reciclaje para riego, lavado de autos, WC, lavado de ropas y consumo humano.

Mediante el mismo análisis del caso anterior, se estima el período de amortización para el riego, lavado de autos, WC, lavado de ropas y consumo humano.

Con las cantidades de aguas recolectadas, para esta casa, el ahorro que se genera en agua potable es del 50%, ya que el resto se debe utilizar agua potable de la red, debido a que las aguas recolectadas no satisfacen totalmente estos usos.

Considerando el consumo de agua potable generado en esta casa = 157.620 L/año, es decir, 13.135 L/mes, se tiene que, los gastos mensuales en agua potable serán de:

$$CAP \left( \frac{\$}{\text{mes}} \right) = 13,135 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \right) \times 345,6 \left( \frac{\$}{\text{m}^3} \right)$$

$$CAP \left( \frac{\$}{\text{mes}} \right) = 4.539$$

El ahorro que se generaría en el consumo al mes será de \$2.270 pesos.

Luego, mediante la inversión estimada según la tabla 4 y la ecuación se obtiene el período de amortización:

$$2.270 \frac{\$}{\text{mes}} \times 12 \text{ mes} \times X \text{ años} = \$1.687.971$$

$$X (\text{años}) = 61,9 \text{ años}$$

Se llega a que en un período aproximado de 61 años y 11 meses se recuperaría la inversión del sistema.

## 15. Conclusiones

El planeta está enfrentando una crisis de agua, afortunadamente en el sur de nuestro país aún no se presenta este problema. Sin embargo, es necesario implementar en la conciencia del ser humano la importancia de usar eficientemente el recurso hídrico. Para esto, se puede reciclar el agua lluvia para reemplazar el agua potable de los hogares. Ya que el agua lluvia no tiene costo y para la implementación de un sistema, la única inversión sería en los materiales y equipos. Además, al implementar un sistema de reciclaje se obtiene un ahorro importante proyectado en el futuro (el costo de agua potable se irá incrementando con el tiempo) como también un aporte al cuidado del recurso hídrico limitado.

### 15.1 Con respecto a la factibilidad técnica

El material utilizado en las cubiertas debe ser apto para el reciclaje del agua. Por ejemplo: un techo verde no es apto para la recolección del agua, ya que se incorporarían partículas contaminantes. Además, tampoco es recomendable utilizar teja asfáltica (tiñe el agua) ni tampoco tejas de fibrocemento, el componente amianto es peligroso para el ser humano. En cambio el techo de zincalume es apto, aunque con el tiempo éste puede corroerse y habría que cambiarlo o tratarlo. Otro material apto es el techo con tejado de acero gravillado.

Mientras más superficie de recolección (cubierta) tenga una edificación, más será la cantidad de agua que se puede aprovechar en los diferentes consumos de una vivienda.

Para llevar a cabo un diseño de sistema de reciclaje de aguas lluvias, es recomendable que sea para una casa en construcción, ya que de esta forma, facilitará la instalación de tuberías en el interior de la vivienda.

La implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias no tiene como finalidad reemplazar completamente el suministro de agua potable de una vivienda, ya que la cantidad de agua recolectada en el estanque es variable. (dependiendo del clima). El sistema a implementar debe ser de fácil mantenimiento, es decir, limpiar las canaletas y superficie de captación antes de la llegada de la temporada de lluvias para que puedan tener un buen funcionamiento.

### 15.2 Con respecto a la factibilidad económica

El costo de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias depende del uso que se quiere dar a las aguas. A mayor exigencia en la calidad del agua, mayor es el costo.

El mayor consumo de agua dentro de una vivienda está en el llenado de los estanques de los inodoros (60%), por lo tanto, si se puede reemplazar esta cantidad de agua potable por otra calidad de agua, entonces el ahorro que se puede obtener es significativo. Por lo tanto, implementar un sistema de reciclaje tiene como propósito generar un ahorro en el consumo con el tiempo.

### 15.3 Recomendaciones

La disponibilidad del agua (lluvia) es limitada, es decir, el estanque no siempre contará con la cantidad suficiente de agua para satisfacer las demandas del usuario.

Se debe cuidar de la calidad del agua almacenada. Evitar el ingreso de luz, calor y suciedad al estanque, ya que estos factores pueden convertir el agua almacenada en un “caldo maloliente”. Por lo tanto, es mejor instalar el estanque bajo tierra y contar con un sistema de filtro adecuado.

El agua no puede permanecer largo período dentro del estanque, ya que puede producir olores y proliferación de insectos.

Es más factible implementar el sistema en edificaciones institucionales, comerciales, de oficinas o industriales, lugares en donde se cuente con grandes áreas de cubierta, de esta forma, el sistema entregará una eficiencia mayor.

Por lo tanto, en base a los antecedentes y datos aportados, se puede concluir que, el diseño de reciclaje más conveniente a implementar en la ciudad de Temuco, es el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para riego y lavado de autos, (no se necesita contar con equipos sofisticados), por lo tanto, son accesibles localmente.

Con respecto a la inversión y el período de amortización al implementar dicho sistema, se puede concluir que mientras más jardín tenga una vivienda (m<sup>2</sup>), más es el ahorro que se genera, y por ende, más corto es el plazo para recuperar la inversión.

Por último señalar que el agua se constituirá a futuro en un bien cada vez más escaso, por lo tanto el costo del agua potable se incrementará en el tiempo. Siendo así, es probable que al igual como hoy se hace con los sistemas alternativos de captación de energía solar, a futuro de pueda legislar para subsidiar también este tipo de iniciativas. Dicha situación hace más factible desde el punto de vista económico, la aplicación de estos sistemas, en el contexto de la necesaria sustentabilidad y preservación de los recursos naturales.

Esto además da pie para desarrollar estudios similares pero para edificios no habitacionales, con un alto consumo de agua, como por ejemplo, educacionales, servicios, deportivos, etc.

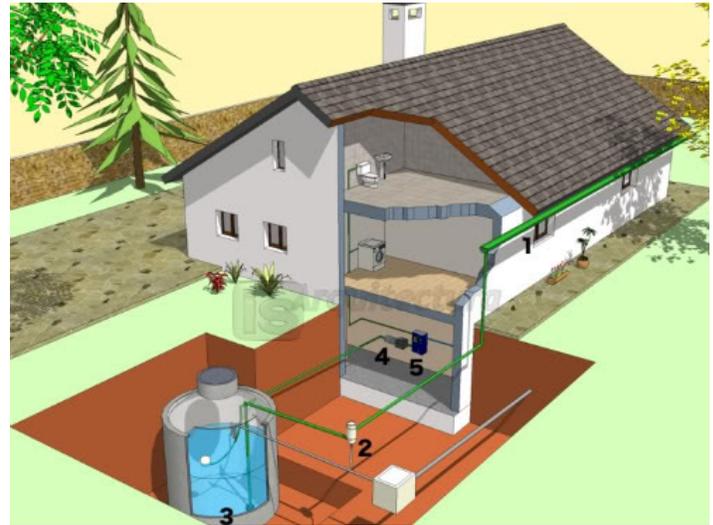


Figura 19. 1.- Captación, 2.- Filtro, 3.- Depósito, 4.- Bomba, 5.- Conmutado y/o control

### Referencias

- 1.- Trabajo de Título: Autor: Huei-Shiuan Wang, Prof. Guía: Guillermo Lira Cifuentes, 2010 “Reciclaje de Aguas Lluvias en Edificios y Aplicación Práctica en la IX Región”, Temuco, Chile, Universidad de La Frontera.
- 2.- Trabajo de Título: Autor: Alvarado C. A., 2010 Técnicas y Estrategias de Eficiencia del Uso del Agua en Edificación”, Temuco, Chile, Universidad de La Frontera.
- 3.- Guía de Diseño para Captación de Agua de Lluvia. CEPIS, 2004.
- 4.- Normas básicas para el manejo de los recursos hídricos en el ámbito rural para consumo humano, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2008