



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

## **DISEÑO DE SISTEMA DE CAPTACIÓN DE LLUVIA PARA USO INDUSTRIAL**

**Alarick Ernesto Moscoso Cashaj**

Asesorado por el Ing. Efraín Andrés Paiz Cano

Guatemala, octubre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE SISTEMA DE CAPTACIÓN  
DE LLUVIA PARA USO INDUSTRIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ALARICK ERNESTO MOSCOSO CASHAJ**

ASESORADO POR EL ING. EFRAÍN ANDRÉS PAIZ CANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Sergio Fernando Pérez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Alberto Eulalio Hernández García
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Convencido que es Él, el que me ha cuidado y guiado desde antes de mi concepción hasta este momento. Dios de todos y de todas las cosas, ofrezco a ti este acto como muestra de mi gratitud.

### **Mis padres**

Sabiendo que no existirá una forma para agradecerles todos los sacrificios que han hecho por mi persona. Ustedes estuvieron conmigo en todo momento, y este acto no fuese posible de no ser por ustedes. Este logro es por y para ustedes.

### **Mi hermana**

Por acompañarme en todo momento, siendo la mejor amiga y confidente que alguien pudiese pedir. La más pequeña de la casa, sin embargo, la más alegre, eres quien quita la monotonía de mis días.

**Mis abuelas**

Por consentirme como ninguna persona lo hará jamás. Ustedes son mi fuente de amor necesaria.

**Mis abuelos**

Por ser ejemplo de un ser humano justo, correcto y humilde. Gracias por los consejos que motivaron a mi superación académica y humana.

**Mis tíos**

Por el apoyo, cariño y consejos desde mi niñez hasta hoy.

**Mis primos**

Por mostrarme que este mundo necesita más muestras de cariño sencillas y sinceras, para ser un lugar mejor

**Mis amigos**

Por llenar mis días de alegría. También por el apoyo mientras nos formamos como seres humanos adultos. Herberth Flores, Yoselin Lantán, María José Tejada, Irwin Milián, Raul Castañeda, Jorge de Paz, Luis Enrique Valenzuela, Alexander Farnés, Emelyn Aldana, Vinicio Herrera, Luis Mario Molina, José Daniel Pineda, y la lista sigue. Espero que el lazo fraternal que nos une crezca con el pasar de los días.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

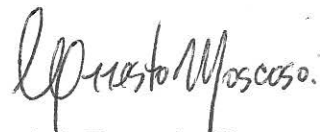
<b>Escuela Mecánica Industrial</b>	Por darme los conocimientos necesarios para formarme como ingeniero
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por su incesante trabajo, ya que sin él, hoy no podría estar recibiendo este título académico.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por permitirme el acceso a una formación de grado universitario.
<b>Catedráticos (as)</b>	Por transmitir sus conocimientos y experiencias.
<b>PRICASA S.A.</b>	Por permitirme realizar mi trabajo de graduación en sus instalaciones.
<b>Ing. Efraín Andrés Paiz</b>	Por asesorarme a través de este trabajo de graduación

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### DISEÑO DE SISTEMA DE CAPTACIÓN DE LLUVIA PARA USO INDUSTRIAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha enero de 2012.



**Alarick Ernesto Moscoso Cashaj**

Guatemala, mayo de 2012


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela Mecánica Industrial  
Universidad San Carlos de Guatemala  
Presente

Ingeniero:

Respetuosamente me dirijo a usted con el propósito de informarle que luego de haber revisado el trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE SISTEMA DE CAPTACIÓN DE LLUVIA PARA USO INDUSTRIAL**, el cual fue presentado por el alumno ALARICK ERNESTO MOSCOSO CASHAJ, y luego de haber realizado las correcciones pertinentes, considero que cumple con los objetivos que le dieron origen.

Por lo tanto, hago de su conocimiento que, en mi opinión, dicho trabajo llena los requisitos para ser sometido a discusión en su examen General Público, y recomiendo su aprobación para el efecto.

Atentamente,

  
Efraín Andrés Paiz Cano  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado No. 7675

*Efraín Andrés Paiz Cano*  
**Ingeniero Mecánico Industrial**  
Colegiado No. 7.675



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA

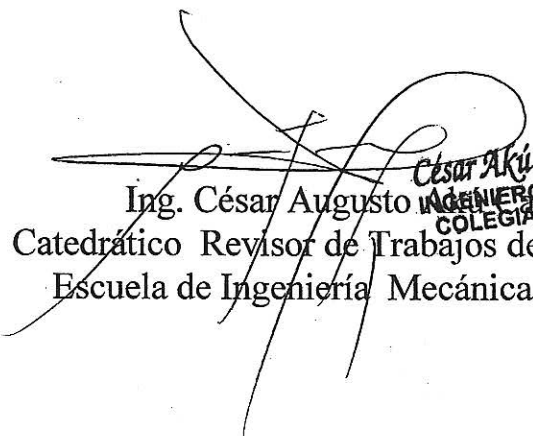


FACULTAD DE INGENIERIA

REF.REV.EMI.154.012

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE SISTEMA DE CAPTACIÓN DE LLUVIA PARA USO INDUSTRIAL**, presentado por el estudiante universitario **Alarick Ernesto Moscoso Cashaj**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
César Augusto **INGENIERO INDUSTRIAL**  
COLEGIADO NO. 4,073  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

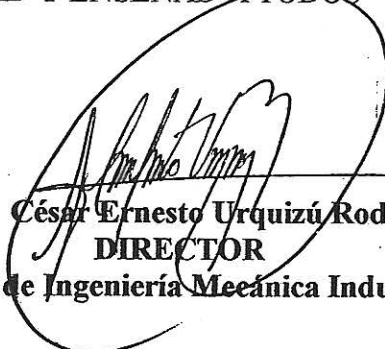
Guatemala, agosto de 2012.

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE SISTEMA DE CAPTACIÓN DE LLUVIA PARA USO INDUSTRIAL**, presentado por el estudiante universitario **Alarick Ernesto Moscoso Cashaj**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, octubre de 2012.

/mgp



DTG. 480.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE SISTEMA DE CAPTACIÓN DE LLUVIA PARA USO INDUSTRIAL**, presentado por el estudiante universitario: **Alarick Ernesto Moscoso Cashaj**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 3 de octubre de 2012.

/gdech



# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS .....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. Reseña histórica .....	1
1.2. Misión .....	2
1.3. Visión .....	2
1.4. Principios .....	2
1.5. Descripción de la situación actual.....	3
1.6. Lluvia como fuente de agua.....	4
1.7. Marco teórico .....	5
1.7.1. Bases del diseño.....	5
1.7.1.1. Demanda de agua.....	6
1.7.1.2. Precipitación en la zona....	6
1.7.2. Criterios del diseño... ..	7
1.7.2.1. Proceso de captación de lluvia... ..	8
1.7.2.2. Captación.....	9
1.7.2.3. Recolección y conducción....	10
1.7.2.4. Interceptor.....	13
1.7.2.5. Almacenamiento... ..	15

2.	DEMANDA Y PRECIPITACIÓN EN EL ÁREA .....	19
2.1.	Demanda .....	19
2.2.	Precipitación en las instalaciones .....	25
3.	DISEÑO DEL SISTEMA.....	31
3.1.	Área para captación en los techos... ..	33
3.1.1.	Calculo del área requerida .....	34
3.1.2.	Consideraciones del diseño. ....	36
3.2.	Canaletas en los techos.....	39
3.2.1.	Dimensionamiento .....	39
3.2.2.	Materiales .....	42
3.2.3.	Instalación .....	43
3.2.4.	Mantenimiento.....	44
3.3.	Interceptor de primeras lluvias .....	45
3.3.1.	Uso .....	45
3.3.2.	Ventajas y desventajas .....	46
3.3.3.	Dimensionamiento .....	47
3.3.4.	Materiales .....	48
3.3.5.	Acople al sistema .....	49
3.3.6.	Mantenimiento.....	52
3.4.	Conductores .....	52
3.4.1.	Dimensionamiento .....	53
3.4.2.	Materiales .....	57
3.4.3.	Instalación.....	57
3.4.4.	Mantenimiento.....	61
3.5.	Depósito de seguridad .....	61
3.5.1.	Uso .....	61
3.5.2.	Dimensionamiento .....	62
3.5.3.	Materiales .....	64

3.5.4.	Acople al sistema .....	65
3.5.5.	Mantenimiento .....	66
4.	ANÁLISIS DEL SISTEMA COMO MEDIO SECUNDARIO DE ABASTECIMIENTO .....	69
4.1.	Modificaciones al sistema .....	70
4.2.	Ventajas y desventajas .....	72
4.3.	Metodología de utilización .....	73
4.4.	Impacto económico .....	75
5.	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD .....	79
5.1.	Análisis de costos .....	79
5.1.1.	Canaletas .....	80
5.1.2.	Conductores .....	81
5.1.3.	Interceptor de primeras aguas .....	82
5.1.4.	Depósito de seguridad .....	82
5.1.5.	Ensamble entre sistemas .....	83
5.1.6.	Controlador del nivel de agua .....	83
5.1.7.	Instalación del sistema .....	84
5.2.	Análisis de factibilidad .....	84
5.2.1.	Ahorro con el uso del sistema .....	84
5.2.2.	Resumen de costos .....	87
5.3.	Indicadores financieros .....	88
5.3.1.	Valor Presente Neto .....	90
5.3.2.	Tasa Interna de Retorno .....	91
5.3.3.	Período de Retorno de Inversión .....	92
5.3.4.	Costo/Beneficio .....	93

6.	MEJORA CONTINUA .....	95
6.1.	Otros medios de captación .....	95
6.1.1.	Pisos .....	96
6.1.2.	Captadores .....	98
6.2.	Ventajas y desventajas .....	101
6.3.	Acople al sistema .....	102
	CONCLUSIONES.....	105
	RECOMENDACIONES.....	107
	BIBLIOGRAFÍA.....	109
	ANEXOS.....	111

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Proceso de captación de lluvia.....	9
2.	Malla de retención de materiales indeseables.....	11
3.	Acople al tanque para almacenamiento en un sistema mojado de transporte.....	13
4.	Instalación típica de interceptor de primeras aguas .....	14
5.	Tanque para almacenamiento para distintos volúmenes.....	15
6.	Consumo mensual durante el 2010 .....	24
7.	Registro en milímetros acumulados durante el año para el período de 1990 a 2010.....	27
8.	Distribución de la precipitación promedio en la zona.....	29
9.	Distribución de la frecuencia promedio de los días lluviosos .....	30
10.	Diseño del sistema.....	32
11.	Disposición de las naves dentro de las instalaciones.....	33
12.	Flote del interceptor de primeras aguas .....	50
13.	Tanque para el almacenamiento de primeras aguas.....	51
14.	Distribución de la intensidad de lluvia en el país .....	54
15.	Código asignado a bajadas de aguas y tuberías.....	58
16.	Filtro artesanal para agua .....	65
17.	Acople entre los techos de las instalaciones .....	70
18.	Controlador de nivel de agua .....	74
19.	Volumen captado contra volumen demandado .....	76
20.	Erogaciones iniciales y erogaciones esperadas .....	78
21.	Tasa de interés activa y pasiva del sistema bancario nacional.....	89



22.	Cunetas para la recolección de agua captada con pisos. ....	97
23.	Diseño de captador de agua.....	99
24.	Captadores instalados en área boscosa .....	101

## TABLAS

I.	Valores comunes para el coeficiente de escorrentía .....	18
II.	Pago por servicio y fuentes externas.....	20
III.	Precios del servicio de agua según el rango de consumo .....	21
IV.	Consumo mensual del servicio de EMPAGUA. ....	22
V.	Consumo mensual de fuentes externas .....	23
VI.	Acumulados mensuales y anuales de lluvia en milímetros .....	26
VII.	Litros por metro cuadrado mensuales .....	28
VIII.	Frecuencia promedio de días lluviosos.....	29
IX.	Guía del volumen necesario para el lavado de techos .....	37
X.	Días lluviosos necesarios para el lavado de techos.....	38
XI.	Dimensiones para el interceptor de primeras aguas.....	47
XII.	Largo de cada bajadas de agua .....	59
XIII.	Cálculos para el depósito de seguridad.....	63
XIV.	Volumen captado con nave 2 .....	69
XV.	Ahorros esperados con el uso del sistema .....	77
XVI.	Ahorro en la mano de obra al aplicar el sistema.....	85
XVII.	Ingresos y egresos del proyecto para un año. ....	87
XVIII.	Flujo de caja para la propuesta .....	89

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>AI</b>	Abastecimiento correspondiente al mes i-ésimo
<b>ABS</b>	Acrilonitrilo butadieno estireno
<b>Ac</b>	Área de captación
<b>Atc</b>	Área de la sección transversal en la canaleta.
<b>AMi</b>	Área mínima requerida por el sistema
<b>Cf</b>	Cargo fijo en quetzales
<b>Qt</b>	Caudal en las bajadas de agua
<b>ECG 128</b>	Código para un transistor
<b>Ce</b>	Coeficiente de escorrentía
<b>Di</b>	Demanda correspondiente al mes i-ésimo

<b>Di</b>	Demanda mensual de agua
<b>∅</b>	Diámetro de la tubería
<b>Qc</b>	Flujo volumétrico en la canaleta
<b>H</b>	Hora
<b>IVA</b>	Impuesto al Valor Agregado
<b>I</b>	Intensidad de lluvia
<b>Io</b>	Inversión inicial
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>lt/m<sup>2</sup></b>	Litro por metro cuadrado
<b>L</b>	Longitud del área de captación
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	Metros cúbicos por segundo
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	Metros cúbicos por segundo
<b>m/s</b>	Metros por segundo

<b>uF</b>	Microfaradios
<b>Mm</b>	Milímetro
<b>mm/h</b>	Milímetros por hora
<b>Q</b>	Moneda guatemalteca
<b>N</b>	Número de años evaluados
<b>Ps</b>	Pago a EMPAGUA por servicio
<b>S</b>	Pendiente media
<b>'</b>	Pie
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Alc</b>	Porcentaje del cargo por alcantarillado
<b>P</b>	Precio del metro cúbico
<b>Ppmáx</b>	Precipitación promedio máxima
<b>Ppmáx</b>	Precipitación promedio máxima
<b>Ppi</b>	Precipitación promedio mensual del mes i-ésimo en milímetros o litros por metro cuadrado

”	Pulgada
<b>Pulg</b>	Pulgada
<b>Q/m<sup>3</sup></b>	Quetzales por metro cúbico
<b>RL</b>	Relé o relevador
<b>Bt</b>	Representa los flujos de caja en cada período t
<b>S.A.</b>	Sociedad Anónima
<b>k</b>	Tasa de interés pasiva
<b>Tc</b>	Tiempo de concentración
<b>Tp</b>	Tiempo de escurrimiento máximo en el área
<b>U.S.</b>	<i>UnitedStates</i> (Estados Unidos)
<b>Pi</b>	Valor de precipitación para el mes i-ésimo evaluado en milímetros, o litros por metro cuadrado
<b>Vt</b>	Velocidad del diseño en la tubería
<b>Vc</b>	Velocidad del flujo en la canaleta

<b>Vb</b>	Velocidad en las bajadas de agua
<b>VCA</b>	Voltaje corriente alterna
<b>VCD</b>	Voltaje corriente directa
<b>V</b>	Voltios
<b>Vipa</b>	Volumen del interceptor de primeras aguas



## GLOSARIO

<b>Canaleta</b>	Canal por el cual circula agua recolectada por el tejado de una edificación
<b>Capacitor electrónico</b>	Dispositivo en el cual se almacena energía en forma de campo eléctrico.
<b>Captación</b>	Recolección de agua procedente de lluvia
<b>Carga orgánica</b>	Demanda de oxígeno que un organismo biológico sobreviva.
<b>CAUE</b>	Costo Anual Uniforme Equivalente
<b>Cisterna</b>	Depósito de gran volumen, diseñado para almacenar agua.
<b>Condiciones anaeróbicas</b>	Condiciones para algún organismo que no necesita oxígeno para su metabolismo.
<b>Eje de las abscisas</b>	Eje X en el plano cartesiano
<b>Eje de las ordenadas</b>	Eje Y en el plano cartesiano.



<b>EMPAGUA</b>	Empresa Municipal de Agua
<b>Erogación</b>	Gasto o desembolso de dinero
<b>Escorrentía</b>	Lámina de agua que circula sobre una superficie.
<b>Fisura</b>	Hendidura localizada en algún punto de interés.
<b>Fuga</b>	Orificio por el cual el agua se escapa del trayecto predestinado.
<b>Grava</b>	Rocas de tamaño comprendidos entre 2 y 64 mm.
<b>Hidrometeoro</b>	Cualquier cuerpo acuoso que se encuentra suspendido en la atmósfera.
<b>i-ésimo</b>	Expresión utilizada para describir la posición que ocupa un objeto entre un conjunto de objetos numerados.
<b>Infraestructura</b>	Edificación
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología

<b>Interceptor de primeras aguas</b>	Depósito destinado al almacenamiento del agua captada en los primeros días del mes.
<b>Media caña</b>	Forma geométrica utilizada en canaletas. Su representaciones es medio círculo
<b>Nave</b>	Edificación industrial.
<b>Niple</b>	Tubería corta, utilizada para unir dos accesorios para tuberías.
<b>PNUMA</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>Precipitación</b>	Cualquier forma de hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie terrestre.
<b>PRICASA</b>	Nombre de la empresa en donde se realizó el estudio
<b>PRODIN</b>	Nombre de una de las marcas manejadas en PRICASA S.A.
<b>PVC</b>	Policloruro de vinilo

<b>Reducidor</b>	Accesorio para tuberías cuyo fin es acoplar dos tuberías de distinto diámetro.
<b>Relé o relevador</b>	Interruptor operado magnéticamente.
<b>Segmento de mercado</b>	Porción de consumidores al cual se enfoca un producto
<b>Sistema</b>	Conjunto de elementos que al interactuar logran un objetivo
<b>TAP</b>	Tipo de unión en una bobina
<b>Tee</b>	Accesorio para tuberías con una entrada y dos salidas, o dos entradas y una salida.
<b>Transistor</b>	Amplificador de corriente eléctrica.
<b>UNATSABAR</b>	Unidad de Apoyo Técnico al Saneamiento Básico Rural
<b>VPN</b>	Valor Presente Neto

## RESUMEN

La industria guatemalteca está realizando esfuerzos para obtener aquellos recursos que necesiten dentro de sus procesos, de una manera más amigable con el ambiente. Y tras la necesidad presentada por PRICASA S.A., de lograr obtener una fuente alterna de agua, para utilizarla como insumo en sus procesos productivos, nace la idea de diseñar un sistema que fuese capaz de aprovechar la lluvia precipitada sobre los techos de las instalaciones, para ingresarla a la red de distribución instalada en la empresa, y posteriormente poder ser utilizada.

El sistema capta la lluvia que es precipitada por los techos, cuya forma es de dos aguas, y es guiada hacia las canaletas colocadas en el borde inferior de los techos. Una vez es ingresada a las canaletas, la lluvia es transportada en forma de flujo por medio de tuberías, las cuales van agrupando los flujos y formando una red, de tal manera que todos estos desembocan en un punto único. En dicho punto se encuentra un depósito, el cual capta y almacena durante un corto período de tiempo la lluvia precipitada, y luego de ser filtrada, entra al cisterna de las instalaciones.

Para poder realizar un diseño similar al propuesto, es necesario conocer: el consumo mensual que se espera satisfacer, las precipitaciones mensuales en el área durante por lo menos 10 años, la intensidad de lluvia que se presenta en el lugar, el área disponible para trabajar, y conocimientos ingenieriles para asegurar la calidad del diseño, y la minimización de costos.



# OBJETIVOS

## General

Diseñar un sistema que sea capaz de captar lluvia por medio de los techos de la fábrica, para su almacenaje y uso. Así como la reducción de los costos en el proceso de producción

## Específicos

1. Eliminar la irregularidad en la producción, causado por la falta de agua en el sistema cuando es requerida.
2. Cubrir la demanda requerida por la empresa y evitar el gasto incurrido en la compra de agua a fuentes externas.
3. Diseñar un tanque de almacenamiento, capaz de almacenar toda el agua captada por los techos de las instalaciones.
4. Modificar la red de alcantarillado pluvial de las instalaciones, para utilizarlas como medio de conducción de la lluvia, hacia el tanque de almacenamiento.
5. Presentar las ventajas de este sistema como método alternativo para obtención de agua.
6. Diseñar un sistema rentable en un período de tiempo considerable.



## INTRODUCCIÓN

PRICASA S.A., es una empresa productora y comercializadora de ceras para automóvil, ceras para el cuidado de calzado y ceras para el mantenimiento de cerámicos. En algunos de sus productos se utiliza agua como parte de sus materias primas. Esta agua es provista por el servicio de la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA).

Durante la época lluviosa, el servicio de EMPAGUA se torna irregular e inestable. El mencionado suceso provoca que el cisterna de las instalaciones se quede vacío, afectando así la producción regular de la empresa.

La solución que actualmente la empresa da al problema es; comprar agua de fuentes externas para llenar el cisterna de las instalaciones, y de este modo poder continuar o iniciar su producción. Sin embargo, esta solución incurre en gastos extras, los cuales aumenta el costo de producción.

Con el fin de eliminar dichos gastos, se propone una nueva solución al problema. La solución propuesta es; diseñar un sistema que sea capaz de captar lluvia, por medio de los techos de las instalaciones, y almacenarlas en un depósito de seguridad, cuya función será llenar el cisterna de las instalaciones cuando este quede vacío.



Sabiendo que, en la ciudad capital se cuenta con un promedio de veinte días al mes con lluvia, para los meses de julio a septiembre, es posible extender el uso del depósito de seguridad. Se puede utilizar como medio secundario de abastecimiento en esta época del año. La lluvia captada entra al depósito de seguridad, y de este se abastecerá el cisterna. Su utilización disminuirá la dependencia del servicio de EMPAGUA, y por lo tanto, el costo incurrido por el pago del servicio.

# **1. ANTECEDENTES**

## **1.1. Reseña histórica**

La empresa PRICASA S.A. fue fundada en 1967, y se dedica a la producción de ceras para automóviles. En sus inicios, los dos productos que fueron lanzados al mercado son las ceras para automóvil marca Aero y Visol. Dichas marcas han sido comercializadas desde entonces. Con el pasar de los años, la empresa buscado nuevos mercados y unidades de negocios, para crecer y posicionarse mejor en el mercado tanto nacional, como internacional.

Nueve años después de iniciadas sus operaciones, la empresa se lanza en un nuevo segmento de mercado, ahora es productora y comercializadora de ceras para el cuidado de calzado, introduciendo así las marcas Shinola e Insta Wax. Fue en esta época cuando la empresa comienza a tener aparición dentro de todo el mercado centroamericano. Posteriormente se incursionó en otro nuevo mercado, ahora la empresa también se dedica a la producción y comercialización de ceras para el mantenimiento de pisos domésticos y empresariales.

En la actualidad, la empresa aún se encuentra produciendo y comercializando estos productos. No descuidando su deseo por expansión, la empresa siempre está introduciendo nuevos productos a distintos mercados, entre los que cabe mencionar: aceite mineral multiusos marca Handy Oil, adhesivo líquido marca Epoxi, pegamento para tubería PVCmarca PRODIN, goma blanca líquida marca Gomy.

## **1.2. Misión**

“Trabajar en equipo, con excelencia, integridad y eficiencia; decidido y enfocado en satisfacer a quien debemos: el cliente, creando una relación de confianza y credibilidad, brindándole además apoyo y asesoría personalizada para el uso satisfactorio de nuestros diferentes productos y servicios en cualquier comento que este lo requiera. “

## **1.3. Visión**

“Nuestra visión del 2011, es que para el 2012, PRICASA S.A. será una organización reconocida en el continente Americano, como productor y comercializador de diferentes productos de consumo y servicio; con estándares de calidad, servicio y satisfacción de categoría mundial, para satisfacer las diferentes necesidades de nuestros consumidores, a quienes nos debemos. “

## **1.4. Principios**

Dios, el respeto a sus principios y la búsqueda de su sabiduría, piedra de la cual parten nuestros pensamientos y acciones.

El respeto a las leyes y normas que deben regir entre individuos, organizaciones, la sociedad y el mundo.

La verdad, razón, integridad, y lealtad para nuestra empresa, nuestros clientes, proveedores y colaboradores.

El conocimiento y la aplicación del mismo con sabiduría e inteligencia.

El beneficio y crecimiento de todas las partes involucradas en la relación comercial.

### **1.5. Descripción de la situación actual**

La empresa presenta un problema para fabricar ciertos productos durante la época lluviosa del año. El problema a enfrentar es que; la producción presenta retrasos y/o paros debido a la falta de agua dentro de las instalaciones. Esta irregularidad se presenta aproximadamente dos o tres veces al mes, durante los meses de julio a octubre.

Ciertos productos fabricados necesitan agua como insumo, por lo que, para poder fabricarse deben contar con una gran cantidad de agua, para un período de tiempo específico, de no ser así, la fabricación de estos productos no puede iniciarse o debe pararse, hasta que la empresa compre agua de fuentes externas y ésta sea almacenada en la cisterna de las instalaciones.

Actualmente, la empresa utiliza el servicio provisto por la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA), el cual por razones desconocidas, presenta irregularidades durante el día en el servicio. Para continuar con la producción, la empresa se ve en la necesidad de comprar agua de fuentes externas. Estas fuentes son camiones cisterna, los cuales llenan el cisterna de la empresa. La compra de agua de fuentes externas aumentan el costo de producción, porque, su costo es más elevado respecto a la provista por EMPAGUA.

## **1.6. Lluvia como fuente de agua**

La lluvia como forma de precipitación, es la primera forma como se presenta el agua dentro del ciclo hidrológico. La función de dicho ciclo es, mantener el balance de las distintas formas que el agua puede adoptar. Todas las sociedades utilizan como fuentes de agua dulce; los ríos, lagos y acuíferos. Lo que la mayoría de personas desconocen es que estas fuentes son secundarias, ya que dichas fuentes obtienen su agua de una fuente primaria. Esta fuente primaria es la lluvia. Un detalle muy peculiar es que la fuente primaria de agua para las sociedades, es comúnmente ignorada, y en su lugar se utilizan las fuentes secundarias. Este proyecto busca explotar la primera fuente de agua, para un uso industrial.

Aunque existen distintos métodos para la captación de lluvia, estos dependen del caso que se presenta. Los tres métodos más comunes para captar lluvia son; el uso de techos, pisos, y captadores hechizos. El uso de techos para captación de lluvia, es el método más común, eficiente y barato, para la captación de lluvia. Por estas razones, ha sido utilizado desde hace tiempo atrás como el medio por excelencia para captación de lluvia para uso doméstico.

El uso de pisos, es el segundo método para captación de lluvias más utilizado. Este presenta una gran desventaja, el agua que se logra captar por este medio sufre de una mayor contaminación a la captada con techos. Sin embargo, su uso es frecuente en cultivos agrícolas o en áreas extensas, en donde el uso de techos elevaría demasiado el costo de instalación.

Últimamente, tras la creciente necesidad de nuevas formas de obtención de recursos, ha surgido un nuevo método para la captación de agua llovida. Este método es la creación de captadores de lluvia. Un captador es un elemento hechizo, cuya geometría permite captar y dirigir agua hacia un destino para almacenarse. El uso de este método es cuando, no existe la posibilidad de captar lluvia por medio de techos, y debido al uso que se le dará al agua, esta no se desea que entre en contacto con el piso; otro motivo para su uso es que se desea ampliar el área de captación de los techos.

Se puede hacer una analogía de estos captadores con una copa de vidrio, las partes de una copa de vidrio son; el cáliz, tallo, y la base. Haciendo la analogía, el cáliz es el medio que se utilizará para hacer la captación. El tallo, es una tubería que se utiliza para transportar el agua de la red de distribución. Y la base, es el acoplamiento de la tubería del captador con la red de distribución del lugar.

## **1.7. Marco teórico**

Para poder realizar el diseño de la instalación, es necesario conocer distintos parámetros. Estos parámetros pueden ser clasificados en dos ramas: bases del diseño y consideraciones del diseño.

En los siguientes apartados se irá desglosando cada uno de los parámetros mencionados anteriormente.

### **1.7.1. Bases del diseño**

Las consideraciones del sistema son; la demanda a satisfacer para regularizar la producción, y la precipitación en la zona.

### 1.7.1.1. Demanda de agua

Para poder determinar la demanda de agua, es necesario conocer el precio de cada unidad de volumen, tanto del agua provista por EMPAGUA como el precio del agua provista por los camiones cisterna. El volumen requerido para un período de tiempo, se obtiene de la siguiente relación:

$$D_i: [(P_s - C_f) \times (1 - A_{lc})] / P \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Donde:

$D_i$ : demanda mensual [ $m^3$ ].

$P_s$ : pago a EMPAGUA por servicio [Q].

$C_f$ : cargo Fijo [Q].

$A_{lc}$ : porcentaje del cargo por alcantarillado [%].

$P$ : precio del metro cúbico, según el rango de consumo [ $Q/m^3$ ].

### 1.7.1.2. Precipitación en la zona

La precipitación en la zona, se puede determinar a partir de los datos provistos por el Instituto de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). El INSIVUMEH tiene datos históricos acerca de la cantidad de milímetros de lluvia que se precipitan en una región, que datan desde hace 20 años, con los cuales, es posible aproximar la precipitación para un período de tiempo futuro.

Una equivalencia muy importante es que, un milímetro de lluvia, equivale a un litro por metro cuadrado. De esta equivalencia es posible determinar la lluvia en unidades de volumen, para el área analizada. La determinación de la precipitación promedio mensual, se obtiene a partir de los datos promedios mensuales de precipitación, de los años evaluados. Dada la equivalencia anterior, este término puede ser expresado en términos de milímetros de precipitación por mes, o litros por metro cuadrado por mes. La ecuación utilizada para definir el promedio mensual de precipitación es:

$$Pp_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}{n} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

Donde:

n: número de años evaluados

Pi: valor de precipitación para el mes i-ésimo evaluado [mm].

Ppi: precipitación promedio mensual del mes i-ésimo [mm o lt /m<sup>2</sup>]

### **1.7.2. Criterios del diseño**

Por otra parte, las consideraciones del diseño, abarcan consideraciones necesarias para satisfacer las necesidades del problema. Estas consideraciones tocan los distintos elementos que conforman el sistema diseñado. Estos elementos son; proceso de captación, captación, recolección, conducción, intercepción y almacenamiento.



### **1.7.2.1. Proceso de captación de lluvia**

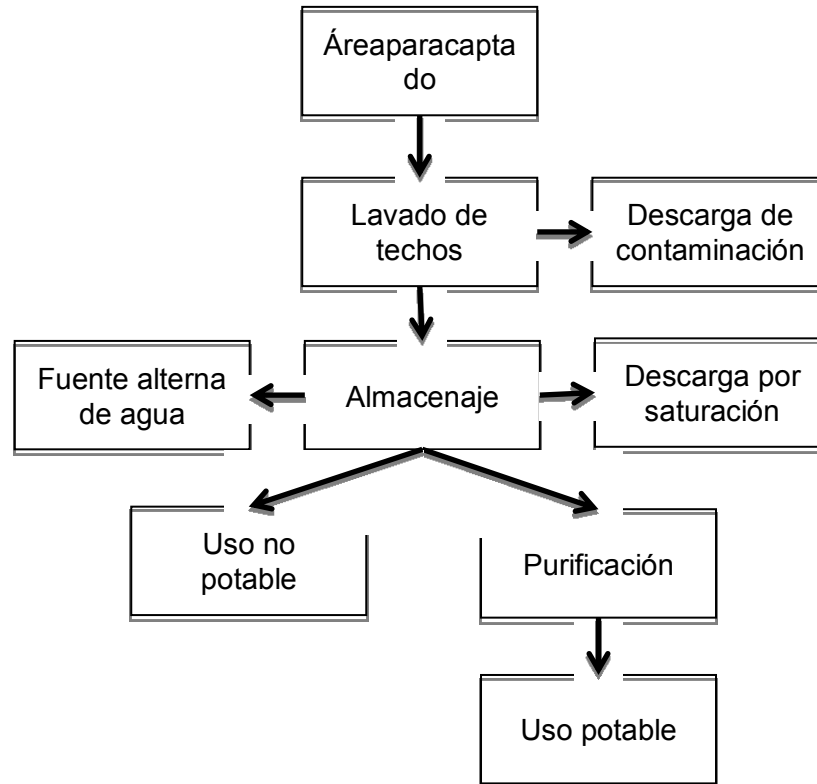
Existe un proceso para hacer una correcta y segura captación de lluvia. Este proceso consta de distintas actividades, las cuales son: captación, lavado de techos o depósito para primeras aguas, en su defecto; almacenaje y uso.

La captación, es el procedimiento en el cual se define cual es el área requerida para captar lluvia, y de este modo cubrir las necesidades requeridas. Con base a esta captación se diseña todo el sistema. Una actividad ligada a los techos para captación, es el lavado para las primeras lluvias. Esta actividad no se refiere a que una persona se suba a los techos a lavarlos, para poder evitar la contaminación por suciedad. Esta actividad sería sumamente peligrosa, y existe un método más fácil y seguro de hacer la limpieza de los techos.

Dentro del sistema se contempla un depósito para las primeras lluvias. La lluvia lavará los techos, y esta agua será depositada en un recipiente, el cual posteriormente descarga esta agua en la red de alcantarillado pluvial. Para aumentar la eficiencia del sistema, y aprovechar al máximo la lluvia, se almacena esta en un tanque para su posterior uso.

En caso de que el agua tenga un uso potable, se deberá purificar para evitar problemas en las personas que lo desean ingerir. El siguiente esquema representa el proceso de captación de lluvia.

Figura 1. **Proceso de captación de lluvia**



Fuente: Design for Water. Heather Kinkade-Levario. p. 15.

### 1.7.2.2. **Captación**

El área de captación, está definida como la superficie, en este caso los techos de las instalaciones, en donde la lluvia cae y puede ser recolectada. Si el agua recolectada tendrá un uso no potable, es posible utilizar cualquier material para los tejados. En el caso de que el agua tenga un uso potable, los materiales que se pueden utilizar son metal, arcilla y concreto. Si los techos son de láminas metálicas, estas no deben contener zinc, asbesto o componentes asfálticos, porque estos son dañinos para la salud de aquel que consuma esta agua.

El área total de las instalaciones se definirá como área para captación potencial, aunque no se utilice toda esta área para la captación, es necesario tenerla en cuenta, en caso la demanda crezca considerablemente, y el sistema deba ser modificado para cumplir con la nueva demanda. El área de las instalaciones que se utilizará para la captación, se denomina área para la dotación de lluvia.

### **1.7.2.3. Recolección y conducción**

Un sistema de captación por medio de techos, generalmente utiliza como transporte para agua, canaletas y bajadas de agua. Este medio de transporte toma la lluvia directamente del área de captación y la conduce al tanque en donde se almacena. Se colocan en el borde inferior de los techos en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo. Las canaletas y bajadas de agua son comúnmente vendidas como materiales para construcción de casas. Estas canaletas deben ser de un material liviano, resistentes a la intemperie y fáciles de unirse entre ellos. Para efecto del diseño se puede utilizar; bambú, maderas, metal o PVC.

Las canaletas y bajadas de agua más duraderas son las metálicas, sin embargo, tienen un alto costo económico. Las canaletas y bajadas de agua construidas de bambú son las más fáciles de construir, no obstante presentan las desventaja de que tienden a deteriorarse rápidamente. El mejor material para la estos elementos es el PVC, ya que cumple con todos los requerimientos del sistema. El PVC es liviano, durable, y su costo no es muy alto. Los materiales para fijar las canaletas a los techos pueden ser: alambre, tornillos, clavos, estacas de madera, etc.

Hay una consideración muy importante en cuanto a las canaletas y bajadas de agua, debido a su posición estas tienden a acumular materiales indeseables, por lo que, el sistema debe tener mallas para retener estos objetos, como la mostrada en la figura 2, y así evitar la contaminación del agua. Entre los materiales indeseables se pueden mencionar; hojas, excremento de aves, polvo, etc.

Figura 2. **Malla para retención de materiales indeseables**



Fuente: Design for Water. Heather Kinkade-Levario. p. 25.

La geometría de las canaletas son generalmente cuadradas, rectangulares o semicirculares. El ancho mínimo para la construcción es de 5 a 6 pulgadas. Una consideración muy importante es que las canaletas deben tener el borde exterior de su cuerpo, por arriba del borde exterior de los techos. De lo contrario, la canaleta salpicará y se desperdiciará parte del agua captada.

Un diámetro típico para las bajadas de agua, es de 3 a 4 pulgadas, hechas con PVC o tubería ABS si se desea tener un menor impacto ambiental. Para 400 pies cuadrados de área de captación, debe existir una bajada de agua de 4 pulgadas de diámetro, de esta manera se evita la saturación de las canaletas, y de las bajadas de agua. No obstante la *Uniform Plumbing Code* posee un apéndice dedicado exclusivamente al dimensionamiento de las canaletas, y las bajadas de agua.

Existen dos tipos de sistemas para el transporte de la lluvia captada. El sistema mojado y el sistema seco. En el sistema mojado, las canaletas y bajadas toman el agua captada, la llevan debajo de la tierra, y luego suben por medio de tubería al tanque de almacenamiento (este se encuentra sobre el nivel del suelo). El problema que ocurre con este sistema, es que después que llueve, un remanente de la lluvia queda empozado dentro de las tuberías, facilitando así un hábitat para los zancudos. Por otra parte, el sistema seco no lleva la tubería por debajo del nivel del tanque de almacenamiento, por lo que toda el agua es escurrida hasta el tanque, evitando así el problema con los zancudos. La figura 3, muestra el acople al tanque de almacenamiento de un sistema mojado para transporte.

Figura 3. **Acople al tanque para almacenamiento en un sistema mojado de transporte**



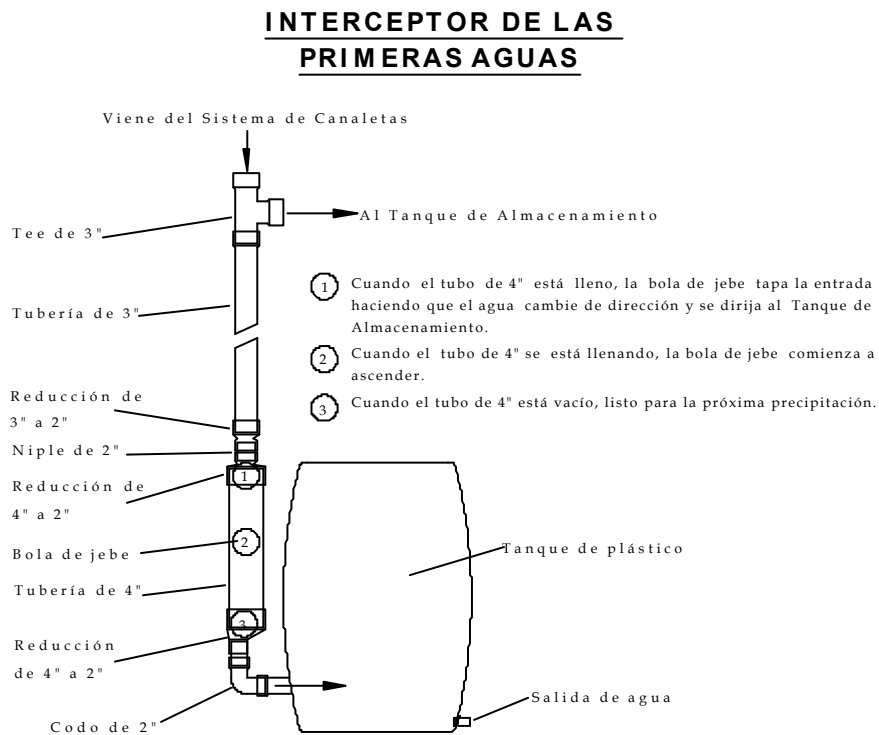
Fuente: Design for Water. Heather Kinkade-Levario. p. 2.

#### **1.7.2.4. Intercepción**

Conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo. En este se encuentran los materiales indeseados para el sistema de captación. Su función es eliminar la contaminación del agua que desea almacenar para su posterior uso. En este dispositivo se puede colocar cualquier tipo de filtro, para eliminar la mayor cantidad de contaminación posible. Dichos filtros se deben limpiar constantemente, para evitar obstrucciones que afecten su función.

En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta que es necesario un litro de lluvia por cada metro cuadrado de techo a limpiar. Con base en dicho criterio se determina el dimensionamiento del interceptor. También es necesario colocar una instalación como la mostrada en la figura 4, para atrapar la mayor cantidad de objetos indeseados.

Figura 4. **Instalación típica de interceptor de primeras aguas**



Fuente: Guía de Diseño para Captación de Lluvia. UNATSABAR. p. 8.

### 1.7.2.5. Almacenamiento

La mayoría de componentes mencionados con anterioridad, por lo general, ya han sido asumidos en una construcción. Sin embargo, los tanques de almacenamiento para la lluvia captada, nunca están previstos. Los tanques de almacenamiento representan mayor parte de la inversión de cualquier sistema de captación, por lo que, estos deben ser del menor tamaño posible, sin descuidar la demanda. A continuación, se presentan tanques para almacenamiento de distintos volúmenes, con el objeto de ejemplificación.

Figura 5. **Tanques para almacenamientos para distintos volúmenes**



Fuente: Design for Water. Heather Kinkade-Levario. p. 26.



Existen tres clases de tanques para almacenamiento. La primera, son tanques instalados sobre el nivel del suelo, éstos presentan la ventaja de su fácil instalación, y por lo tanto, un menor costo de instalación. Sin embargo, presentan ciertas desventajas, por ejemplo, si las caídas de agua llegan hasta debajo del nivel del suelo, no es posible aplicar un sistema seco de transporte con estos tanques.

La segunda, son tanques instalados debajo del nivel del suelo, estos presentan una ventaja respecto a la anterior, aunque las bajadas de agua lleguen hasta debajo del nivel del suelo, es posible aplicar un sistema de transporte seco. Sin embargo, al tener que escavar para poder instalar este sistema el costo de instalación se incrementa, además el deterioro de estos tanques, es mayor que los tanques de la primera clase.

La última clase, son tanques instalados dentro de la planta, aunque son poco comunes, porque ocupan espacio que podría ser utilizado para otro fin. Se utilizan cuando el agua captada se le da un uso potable, y se hace de esta manera por practicidad.

Las partes principales de un tanque para almacenamiento son; base, paredes y cubierta. Sin embargo, existen otros elementos que ayudan al funcionamiento de tanque. Estos son: entrada de agua, la cual se coloca en el borde superior de las paredes del tanque. Salida de agua; comúnmente colocada en la parte posterior del tanque, y acompañada de una válvula para abrir o cerrar el paso de agua. Escotilla de acceso, esta diseñada para poder darle mantenimiento al interior del tanque, se coloca en la cubierta del tanque. Y finalmente, el medio de drenaje, el cual generalmente se conecta con la red de alcantarillado pluvial del lugar.

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitación de todos los años evaluados, el material del techo, y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo, por mes. La fórmula para obtener el volumen del tanque de almacenamiento es la siguiente:

$$A_i = \frac{P_{pi} \times C_e \times A_c}{1000} \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Donde:

- A<sub>i</sub>: abastecimiento correspondiente al mes i-ésimo [m<sup>3</sup>].
- P<sub>pi</sub>: precipitación promedio mensual [lt/m<sup>2</sup>].
- C<sub>e</sub>: coeficiente de escorrentía [%]
- A<sub>c</sub>: área de Captación [m<sup>2</sup>]

A partir de estudios hidrológicos, a sido posible definir valores comunes para el coeficiente de escorrentía. Dicho coeficiente muestra la proporción de precipitación que es aprovechable por un medio de captación. Este valor depende del material de los techos estudiados. En la tabla I, se muestran estos valores:

Tabla I. Valores comunes para el coeficiente de escorrentía

<b>Material</b>	<b>Coeficiente de Escorrentía</b>
Cubierta superficial	
Concreto	0,60-0,80
Pavimento	0,50-0,60
Geomembrana de PVC	0,85-0,90
Azotea	
Azulejo, teja	0,80-0,90
Hojas de metal acanaldas	0,70-0,90
Orgánicos (hojas con barro)	<0,20
Captación en tierra	
Suelo con pendiente menor al 10%	0,00-0,30
Superficiales naturales rocosas	0,20-0,50

Fuente: Diseño de Sistemas de Captación del Agua de LluviaPNUMA. p. 51.

## **2. DEMANDA Y PRECIPITACIÓN EN EL ÁREA**

Como parte de cualquier diseño, este debe partir de la satisfacción de una necesidad. En el caso de este, la demanda de agua en la empresa, no esta siendo cubierta totalmente por su abastecedor, creando así un desfase entre la oferta de EMPAGUA, ya la demanda de PRICASA S.A. El objeto del sistema de captación de lluvia es cubrir este desfase, con la lluvia que se precipita en las instalaciones de la empresa.

### **2.1. Demanda**

La demanda se conoce de datos históricos, es decir, de la suma de los pagos realizados a EMPAGUA por el servicio prestado, y los pagos realizados a fuentes externas cuando éstos son requeridos. En la tabla II, se resumen los pagos realizados en 2010 tanto a EMPAGUA, como a fuentes externas, con objeto de pago de servicio y compra adicional de agua, respectivamente.

Tabla II. **Pago por servicio y fuentes externas**

Mes	Pago a EMPAGUA (Quetzales)	Pago a fuentes externas (Quetzales)				Total pago a fuentes externas (Quetzales)
		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	
Enero	2583,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Febrero	1549,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Marzo	2600,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Abril	2271,64	350,00	350,00	350,00	350,00	1400,00
Mayo	1908,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Junio	1982,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Julio	2397,76	350,00	700,00	700,00	0,00	1750,00
Agosto	2386,38	350,00	250,00	350,00	350,00	1300,00
Septiembre	2872,25	250,00	250,00	0,00	0,00	500,00
Octubre	2600,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Noviembre	2731,21	250,00	250,00	0,00	0,00	500,00
Diciembre	2045,30	250,00	250,00	0,00	0,00	500,00
Total pagado a EMPAGUA (Quetzales)	27 928,88				Total pagado a fuentes externas (Quetzales)	5 950,00

Fuente: elaboración propia.

Con base en la información anterior, es posible determinar el volumen consumido durante cada mes. Para lo cual es necesario conocer los costos que componen el pago a EMPAGUA. Este pago se desglosa en tres rubros; el primero se conoce como valor del consumo, el cual se obtiene de la multiplicación entre los metros cúbicos consumidos, por el precio del metro cúbico. El segundo rubro se le conoce como valor del alcantarillado, y es el equivalente al 20 por ciento del rubro anterior (sin IVA). El último rubro se le conoce como cargo fijo, y es la cantidad de Q16,00 (precio sin IVA). EMPAGUA no tiene un precio único para el metro cúbico de agua, este precio varía según el consumo mensual. En la tabla III, se muestran los precios del agua según el rango de consumo.

Tabla III. **Precios del servicio de agua según el rango de consumo**

<b>Metros cúbicos consumidos</b>	<b>Precio del metro cúbico (sin I.V.A) (Quetzales)</b>	<b>(+) Alcantarillado sobre consumo total (Porcentaje)</b>	<b>(+) Cargo fijo (Sin I.V.A.) (Quetzales)</b>
1 a 20	1,12	20	16,00
21 a 40	1,76	20	16,00
41 a 60	2,24	20	16,00
61 a 120	4,48	20	16,00
121 a más	5,60	20	16,00

Fuente: <http://www.nuestramuni.com>. Consulta: febrero 2012

Con base en la información anterior, a sido posible determinar el consumo mensual de la empresa durante el 2010. Con respecto al precio del metro cúbico utilizado, se determina a partir de la comparación entre el rango del precio y los metros cúbicos obtenidos con dicho precio. Por ejemplo, en el caso del primer precio para el metro cúbico mostrado de la tabla III, el rango permitido para dicho precio es de 1 a 20 metros cúbicos, y los metros cúbicos obtenidos con este precio son 1 636,17, por lo que, se descarta este precio porque el consumo es mayor al permitido por el rango establecido. Después del análisis de la información, y la confirmación al momento de revisar la facturación de la empresa, se ha podido determinar que el precio del metro cúbico pagado por la empresa, es Q5,60 (precio sin IVA). Los resultados parciales y totales se resumen en la tabla IV.

Tabla IV. **Consumo mensual del servicio de EMPAGUA**

<b>Mes</b>	<b>Pago a EMPAGUA (Quetzales)</b>	<b>(-) Cargo fijo (Con IVA) (Quetzales)</b>	<b>(-) Alcantarillado sobre consumo (Quetzales)</b>	<b>Metros cúbicos consumidos</b>
Enero	2 583,44	2 565,52	2 052,41	327,23
Febrero	1 549,17	1 531,25	1 225,00	195,31
Marzo	2 600,06	2 582,14	2 065,71	329,35
Abril	2 271,64	2 253,72	1 802,98	287,46
Mayo	1 908,91	1 890,99	1 512,79	241,20
Junio	1 982,67	1 964,75	1 571,80	250,61
Julio	2 397,76	2 379,84	1 903,87	303,55
Agosto	2 386,38	2 368,46	1 894,77	302,10
Septiembre	2 872,25	2 854,33	2 283,46	364,07

Continuación de la tabla IV.

Octubre	2 600,09	2 582,17	2 065,74	329,36
Noviembre	2 731,21	2 713,29	2 170,63	346,08
Diciembre	2 045,30	2 027,38	1 621,90	258,59
Total	27 928,88	27 713,84	22 171,07	3 534,93

Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, este no es el consumo mensual de la empresa, por otra parte se tiene el pago a fuentes externas por objeto de compra de agua. Existen dos precios para la compra de agua; el primero es de Q250,00, equivalente al pago de 2500 galones de agua , y el segundo es de Q 350, equivalente al pago de 3500 galones de agua. A partir de los precios anteriores, y con la información mostrada en la tabla II, es posible estimar los metros cúbicos consumidos durante cada mes del 2010. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla V.

Tabla V. **Consumo mensual de fuentes externas**

Mes	Metros Cúbicos Consumidos				Total Consumidos
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	
Enero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Febrero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Marzo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Abril	11,36	11,36	11,36	11,36	45,44
Mayo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Junio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Julio	11,36	22,72	22,72	0,00	56,80
Agosto	11,36	9,46	11,36	11,36	43,54



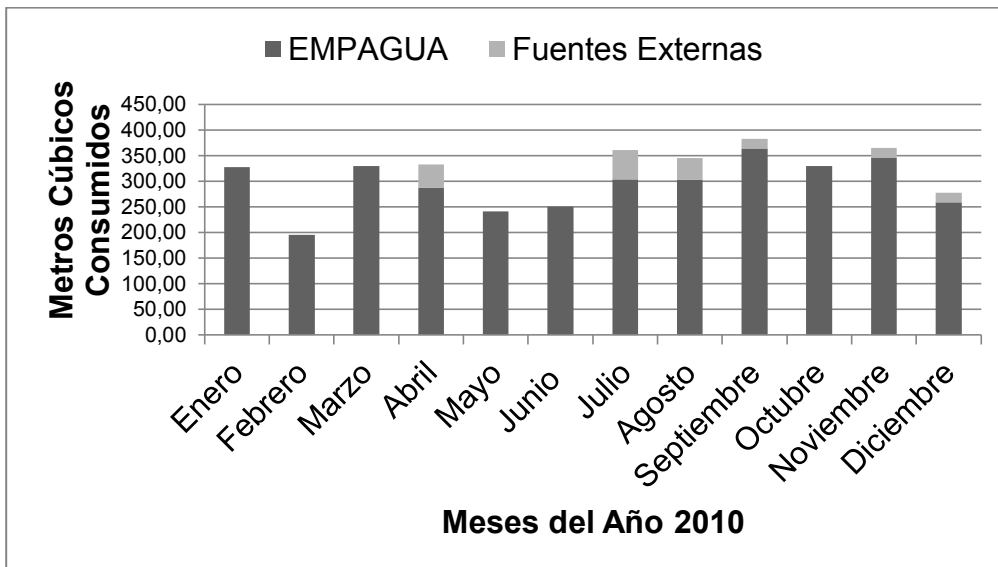
Continuación de la tabla V.

Septiembre	9,46	9,46	0,00	0,00	18,92
Octubre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Noviembre	9,46	9,6	0,00	0,00	18,92
Diciembre	9,46	9,46	0,00	0,00	18,92
Total	62,46	71,92	45,44	22,72	202,54

Fuente: elaboración propia.

Ahora ya se posee el consumo total de cada mes, para el 2010, estos datos servirán para diseñar el sistema de captación de lluvia. En el siguiente gráfico es posible apreciar el consumo total de cada mes. Es resaltable que el consumo durante todo el año es estable, y oscila entre 300 y 400 metros cúbicos durante el mes.

Figura 6. **Consumo mensual durante el 2010**



Fuente: elaboración propia.

## **2.2. Precipitación en las instalaciones**

Conociendo la demanda promedio que se desea satisfacer, el siguiente paso es definir cual es la cantidad de lluvia que se espera capturar dentro de las instalaciones. Aunque no se utilice toda el área de los techos en el sistema de captación, es necesario conocer cual es el potencial que la empresa tiene para captar lluvia.

Dentro del departamento de Guatemala, existen dos estaciones de registro de datos del INSIVUMEH, esta la estación central de registro de datos, localizada en la zona 13 de la ciudad capital, la segunda se encuentra en el Municipio de San Pedro Ayampuc. Las instalaciones de la empresa se encuentran ubicadas en el kilómetro 6,5 de la zona 18 en la ciudad capital, sin embargo, la estación más cercana a las instalaciones, no es la central, si no que es la localizada en San Pedro Ayampuc.

La distancia que hay entre la estación, y las instalaciones de la empresa, es de 15 kilómetros, por lo que no existirá una variación considerable entre la cantidad de precipitación de los dos lugares. Por lo tanto, los datos son valederos. Los datos registrados en esta estación, se muestran a continuación en la tabla VI.

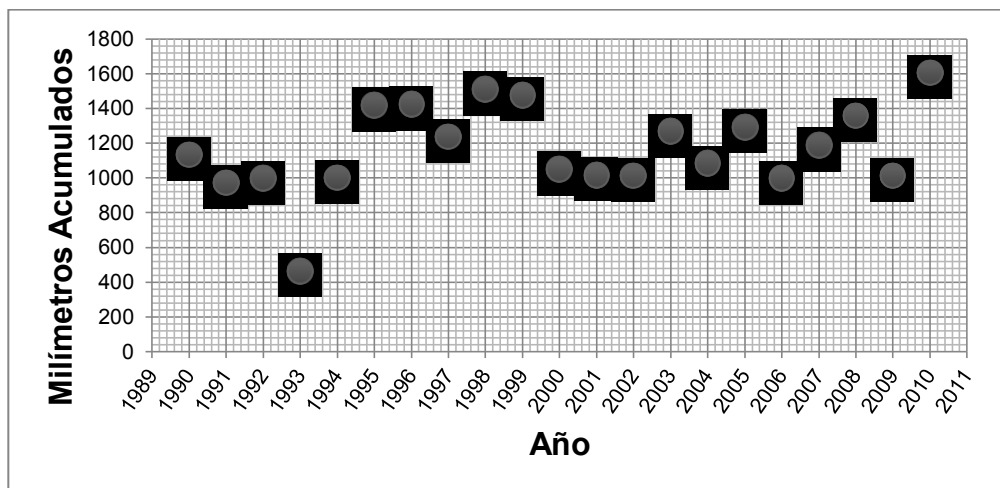
**Tabla VI. Acumulados mensuales y anuales de lluvia en milímetros**

<b>Año</b>	<b>Ene.</b>	<b>Feb.</b>	<b>Mar.</b>	<b>Abr.</b>	<b>May.</b>	<b>Jun.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Ago.</b>	<b>Sep.</b>	<b>Oct.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dic.</b>	<b>Anual</b>
1990	11,1	1,4	1,0	47,4	185,3	90,5	125,7	137,9	339,4	94,1	73,4	26,4	1 133,6
1991	6,2	2,2	0,0	16,5	155,0	2,9	62,3	94,2	257,1	118,5	12,8	28,1	971,9
1992	0,7	0,0	10,2	46,4	14,8	331,5	160,4	159,7	96,6	61,8	42,5	73,0	997,6
1993	0,0	0,0	8,9	85,9	62,3	39,4	0,0	14,2	148,0	86,4	13,0	6,7	464,8
1994	7,6	1,2	6,2	37,9	94,2	133,8	37,5	277,6	240,2	134,5	24,6	5,0	1 000,3
1995	0,3	2,4	0,4	81,3	101,7	295,4	124,9	294,4	337,3	159,8	3,7	15,3	1 416,9
1996	2,6	3,4	3,3	183,4	192,6	256,6	239,3	118,4	191,4	207,5	24,6	0,6	1 423,7
1997	2,7	0,8	5,1	56,9	38,1	273,1	140,2	94,1	352,8	145,4	107,5	19,2	1 235,9
1998	0,1	0,0	21,2	0,0	68,9	280,1	216,9	210,6	127,6	224,0	355,5	3,6	1 508,5
1999	1,0	52,2	0,4	6,4	96,8	295,1	277,8	221,7	326,9	174,3	19,7	3,0	1 475,3
2000	0,4	0,0	0,2	40,9	231,4	306	62,1	130,4	220,2	41,5	14,5	1,6	1 049,2
2001	1,1	4,8	2,6	4,1	129,5	162,8	175,1	223,3	152,7	137,6	19,6	1,3	1 014,5
2002	0,0	6,6	0,0	12,7	76,4	208,4	163,7	109,3	242,9	108,6	83,6	0,2	1 012,4
2003	0,9	14,4	20,3	36,8	159,9	303,1	186,8	109,4	374,2	42,1	18,6	2,0	1 268,5
2004	0,8	0,0	27,8	62,0	97,3	279,4	176,3	53,6	227,3	147,3	11,8	1,1	1 084,7
2005	7,8	2,3	4,3	6,5	198,8	309,6	229,4	199,5	173,3	141,5	18,0	0,3	1 291,3
2006	0,0	0,0	0,0	15,8	150,6	289,3	133,6	18,8	151,6	211,0	17,2	10,4	998,3
2007	12,7	0,0	0,5	8,3	98,3	392,5	125,0	186,4	229,6	113,3	16,9	3,4	1 186,9
2008	0,0	2,0	4,9	35,3	92,6	267,7	391,5	141,3	332,5	88,0	0,0	0,0	1 355,8
2009	0,7	2,2	0,6	0,0	295,2	205,9	96,9	99,1	134,8	38,2	104,5	34,1	1 012,2
2010	2,0	0,0	0,2	196,8	291,2	167,0	239,1	394,0	226,5	62,1	25,0	0,0	1 603,9
<b>TOTALES</b>	<b>58.7</b>	<b>95.9</b>	<b>118.1</b>	<b>981.3</b>	<b>2830.9</b>	<b>5106.2</b>	<b>3364.5</b>	<b>3287.9</b>	<b>4882.9</b>	<b>2537.5</b>	<b>1007</b>	<b>235.3</b>	

Fuente: Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología, Estación San Pedro Ayampuc.

En la figura 7, se puede apreciar que la variación del clima en la región no ha cambiado durante los últimos 20 años. Se puede observar que en 1993, hay una variación considerable en los milímetros acumulados, dicho evento fue provocado por una sequia en el país. En las estimaciones pertinentes se descartará este año para el análisis. Durante 1998 y 2008, el país se ve afectado por los huracanes *Mitch* y *Stan*, respectivamente. Sin embargo, en la ciudad capital, no hubo variaciones grandes, en cuanto a la precipitación.

Figura 7. **Registro de los milímetros acumulados durante el año, para el período de 1990 a 2010**



Fuente: elaboración propia.

Con base en la ecuación 2 y la sumatoria de todos los años para cada mes, presentada en la última fila de tabla VI; se procede a calcular los promedios mensuales de precipitación en las instalaciones. El cálculo para el mes de julio se mostrará a continuación, para el resto de meses el cálculo es igual, por lo que se mostraran los resultados en la tabla VII.

$$Pp(\text{julio}) = \frac{3\,364,5}{21} = 160,21 \frac{\text{lt}}{\text{m}^2}$$

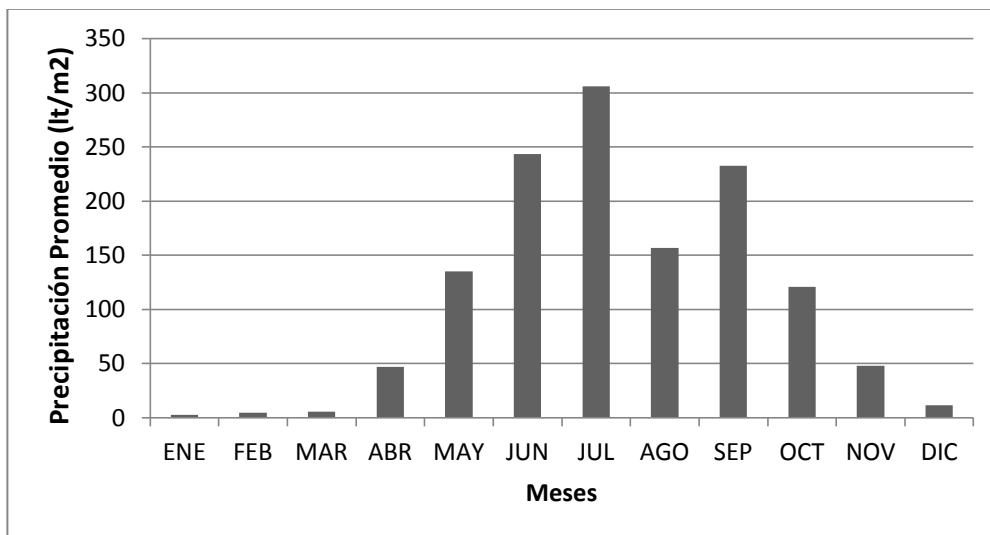
Tabla VII. **Litros por metro cuadrado mensuales**

Mes	Litros/ Metro Cuadrado	Mes	Litros/ Metro Cuadrado
Enero	2,80	Julio	160,21
Febrero	4,57	Agosto	156,57
Marzo	5,62	Septiembre	232,52
Abril	46,73	Octubre	120,82
Mayo	134,80	Noviembre	47,95
Junio	243,15	Diciembre	11,20

Fuente: elaboración propia.

Como es apreciable en la figura 8, la época lluviosa en la región inicia en mayo, y finaliza en octubre, dándole así un aprovechamiento al sistema de seis meses anuales.

Figura 8. **Distribución de la precipitación promedio en la zona**



Fuente: elaboración propia.

También es importante conocer la frecuencia con que llueve en las instalaciones. Esta frecuencia será considerada porque el área de captación, se encuentra ligada a dicha variable. La estación de San Pedro Ayampuc cuenta con registros históricos para los últimos 7 años. Esta información se presenta en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Frecuencia promedio de días lluviosos**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2004	1	0	2	5	15	20	13	13	19	18	4	1	111
2005	1	1	6	1	13	22	19	17	17	16	4	1	118
2006	0	1	5	6	16	25	19	18	20	17	6	5	138
2007	3	0	2	1	4	22	0	19	0	16	5	2	74

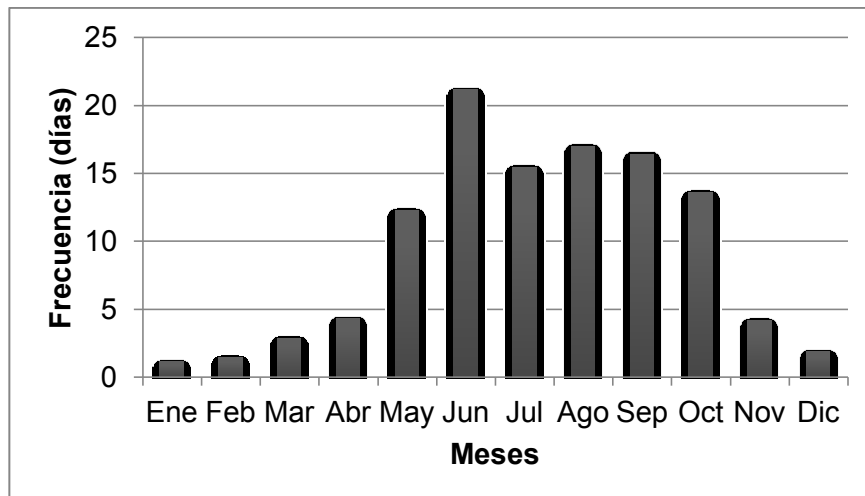
Continuación de la tabla VIII.

2008	0	5	3	4	10	24	21	16	21	16	0	0	120
2009	2	3	1	0	17	17	14	9	14	9	7	4	97
2010	1	0	1	13	11	18	22	27	24	3	3	0	123
Promedio	1	1	3	4	12	21	15	17	16	14	4	2	112

Fuente: Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología, Estación San Pedro Ayampuc.

La figura 9, muestra el comportamiento de la frecuencia con que llueve en el área analizada. Se aprecia que durante la época lluviosa, la mitad del mes llueve, empezando en el mes de mayo, y finalizando en octubre.

Figura 9. **Distribución de la frecuencia promedio de días lluviosos**



Fuente: elaboración propia.

### **3. DISEÑO DEL SISTEMA**

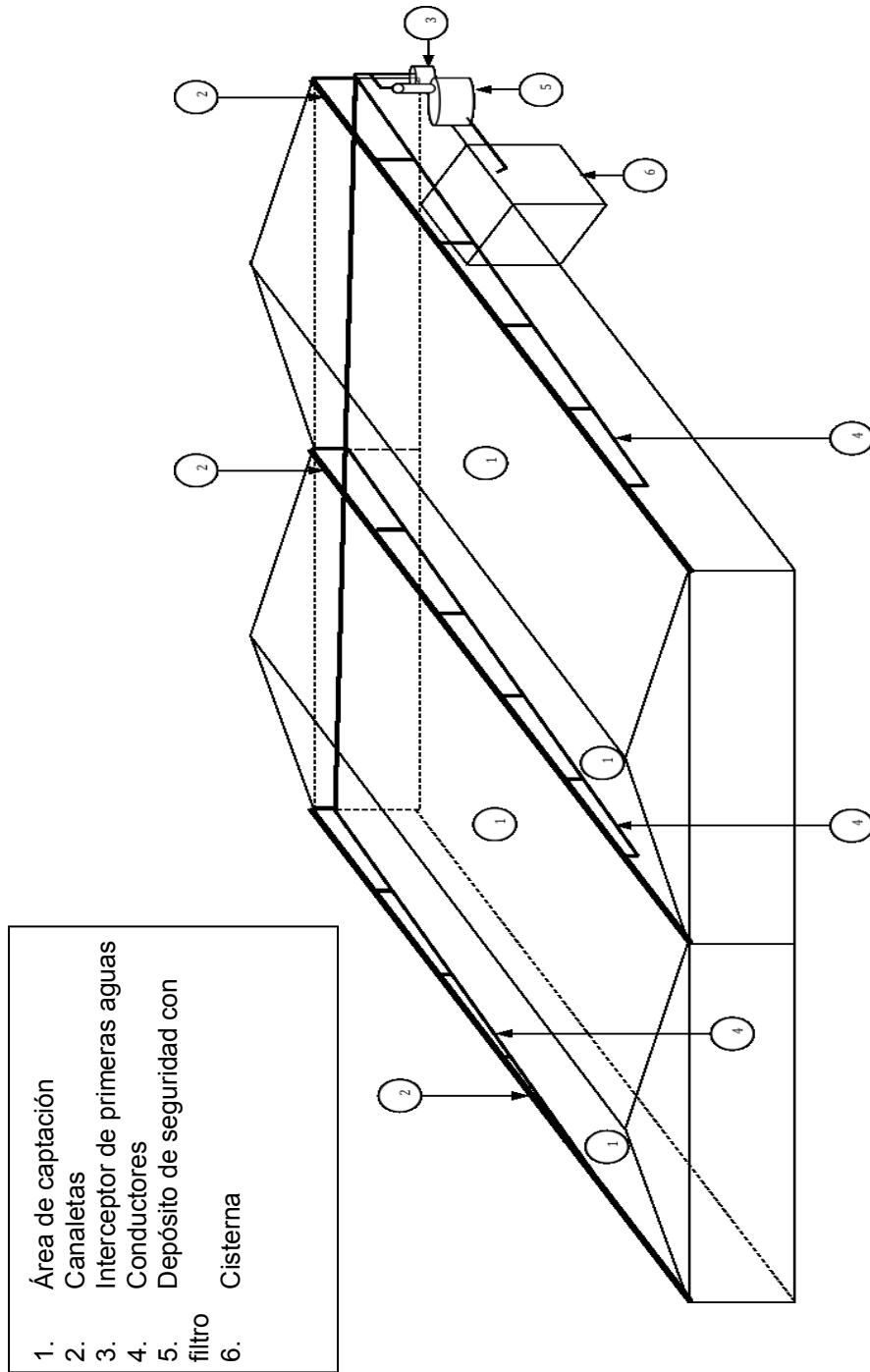
La función del sistema, es captar el agua precipitada por medio de los techos de las naves de las instalaciones. Los techos de las naves son del tipo de dos aguas, con una pendiente de 15 grados. El agua captada es encausada hacia las canaletas de recolección, estas canaletas se encuentran en los bordes inferiores de los techos, tanto en los extremos como en la parte central. Una vez se encuentra en este punto, toda el agua se va agrupando por medio de tuberías, hasta conducirla solamente por una tubería.

Esta tubería conduce el agua hacia el interceptor de primeras aguas, y posteriormente al tanque de seguridad y al cisterna. El exceso de agua que no pueda ser almacenada, se redirige hacia el sistema pluvial de la empresa. En la figura 10 se pueden apreciar todos los elementos del sistema, y como se vería una vez instalados.

PRICASA S.A., cuenta con tres naves dentro de sus instalaciones. La nave 1, es aquella en donde se encuentra el área de producción, las oficinas administrativas, la bodega de producto terminado y la sala de ventas. La nave 2, es la bodega de materias primas, en ella se almacenan todos los insumos necesarios para la elaboración y empaque de los productos. La última bodega sirve para el almacenaje de piezas de maquinaria, esta se denotará como nave 3. Los techos de las tres naves son de tipo de dos aguas, este factor hace más sencilla la captación de agua, y a su vez la canalización hacia los conductores. La disposición de las naves dentro de las instalaciones se muestra en la figura 11.



Figura 10. Diseño del sistema



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Disposición de las naves dentro de las instalaciones



Fuente: Google maps: <http://maps.google.com>. Consulta: febrero 2012.

### 3.1. Área para captación en los techos

El área máxima que dispone en las instalaciones, es el resultante de la suma de las áreas de todas las naves. La nave 1, tiene un área de 1600 metros cuadrados, la nave 2, tiene 2090 metros cuadrados; y la nave 3, tiene 200 metros cuadrados. En total, la empresa cuenta con 3890 metros cuadrados, disponibles para satisfacer sus necesidades.

Existen dos maneras de obtener toda el agua necesaria para cubrir la demanda mensual. La primera es utilizando un área de captación relativamente bajo, junto con un tanque de seguridad grande. La segunda manera es, utilizando una mayor área de captación, junto con un tanque de seguridad más pequeño. La primera manera se utiliza cuando el área de captación es una limitante, y es necesario almacenar el agua en el tanque de seguridad por un mayor período de tiempo. En el caso de PRICASA S.A., el área disponible para hacer la captación no es una limitante, por consiguiente, la segunda manera se presenta como la más factible.

### **3.1.1. Cálculo del área requerida**

Es necesario aclarar que, la lluvia captada por los techos, estrictamente no representa a la lluvia que se va a almacenar en el tanque de seguridad. Al aumentar el área de captación el tanque de seguridad se llena más rápido, dando al sistema un mayor grado de confiabilidad. El tanque de seguridad no debe almacenar una cantidad mayor, a la requerida en un corto período de tiempo, más un factor de seguridad. Para el caso de estudio, este consumo sucedió en el mes de julio (ver tabla V), con un valor correspondiente de 56,80 metros cúbicos.

Por lo tanto, existe un área mínima de captación, para poder cubrir la demanda ocurrida en el mes de julio. Si se sabe que la precipitación promedio en julio es de 160 litros por metro cuadrado. El área puede ser estimada mediante la siguiente igualdad.

$$D_i = \frac{P_{pi} * C_e * A_{Mi}}{1\ 000} \quad \text{[Ecuación 4]}$$

Donde:

- Di: demanda de fuentes externas en el mes de julio. (m<sup>3</sup>)
- Ppi: precipitación promedio del mes correspondiente a la demanda. (lt/m<sup>2</sup>)
- Ce: coeficiente de escorrentía (%) (tabla I).
- AMi: área mínima requerida por el sistema. (m<sup>2</sup>)

Por consiguiente, el área mínima necesaria en el sistema, es de 355 metros cuadrados. Sin embargo, al utilizar solamente esta área el tanque tardaría un mes en llenarse, lo cual hace del sistema poco seguro, ya que cualquier fluctuación en la producción, podría no ser satisfecha por el sistema de abastecimiento. Sin embargo, al aumentar el área de captación, el sistema diseñado será capaz de satisfacer toda la demanda mensual, manteniendo el volumen del tanque de seguridad.

La mayor demanda registrada durante el 2010, fue en el mes de septiembre, con un consumo de 383 metros cúbicos. Y la precipitación correspondiente a este mes es de 232,52 litros por metro cuadrado. El área requerida para poder satisfacer esta nueva demanda, se estima a partir de la igualdad anterior (Ecuación 4), siendo esta 1 800 metros cuadrados. Un valor aproximado al área total disponible en la nave 1, recordar que esta nave cuenta con un área de 1 600 metros cuadrados.

### **3.1.2. Consideraciones del diseño**

Se ha dispuesto utilizar solamente los techos de la nave 1, porque el cisterna se encuentra instalado debajo, con el efecto de minimizar los costos del sistema. En caso de que se instalará el sistema en cualquiera de las otras naves, sería necesario utilizar una bomba hidráulica, para transportar el agua recolectada al cisterna, esto incrementaría, tanto, los costos de instalación, como los de operación.

Otra consideración muy importante, es el lavado de los techos. Este proceso es dejar que las primeras lluvias precipitadas, se utilicen para limpiar el sistema, esta agua no se utilizará con fines industriales. Esta fase es el primer eslabón para asegurar que la calidad del agua recolectada apruebe los estándares requeridos por la empresa. El proceso de lavado de techos puede utilizar diferentes elementos como, cunetas como malla para impedir el paso de hojas y otros materiales indeseables, y dispositivos para las primeras precipitaciones.

Las razones por las cuales es necesario realizar un lavado de techos son:

- Reducción en la frecuencia con que se deberá lavar el tanque de seguridad.
- Reducción en la afluencia de bacterias que, generalmente, se encuentran adjuntadas en sólidos.

- Reducción de los niveles de nutrientes en la cisterna, y el tanque de seguridad, que en consecuencia, reduce e incluso elimina el crecimiento de larvas de mosquito.
- Reducción de la carga orgánica dentro del sistema disminuyendo la oportunidad de crear condiciones anaeróbicas y olores, dentro del sistema.

Un correcto lavado de agua de techos requiere un volumen mínima de lluvia, para asegurar la calidad del agua que se utilizará en el sistema. Este volumen está en función del área que se desea lavar. En la tabla IX se muestra la proporción del volumen correcto.

Tabla IX. **Guía del volumen necesario para el lavado de techos**

<b>Área a cubrir (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Agua necesaria (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)</b>
00 – 90	0,0002 – 0,0004
90 – 500	0,0004 – 0,01
500 – 2000	0,01 – 0,03
2 000 – más	0,03 – 0,06

Fuente: Design for Water. Heather Kinkade-Levario. p. 74.

La cantidad de días necesarios para el lavado de techos, se define por medio de la siguiente ecuación.

$$DLT = \frac{30\,000 * FLT}{P_{pi}} \quad \text{[Ecuación 5]}$$

Donde:

DLT: días para lavado de techos (días)

FLT: factor de lavado de techos (tabla VIII)

Ppi: precipitación para el mes evaluado (lt/m<sup>2</sup>)

Tomando un factor de lavado de techos de 0,015 se ha podido estimar la cantidad de días que el sistema debe estar en limpieza. Nota: en las casillas en las que aparece el mensaje “no aplica”, el sistema no se encuentra en funcionamiento.

Tabla X. **Días lluviosos necesarios para el lavado de techos**

<b>Mes</b>	<b>DLT (días)</b>	<b>Mes</b>	<b>DLT (días)</b>
enero	No aplica	julio	1
febrero	No aplica	agosto	3
marzo	No aplica	septiembre	2
abril	No aplica	octubre	4
mayo	3	noviembre	No aplica
junio	2	diciembre	No aplica

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Canaletas en los techos**

La función de las canaletas en los techos y las bajadas de agua, es evitar daños a la infraestructura. Estos elementos también alejan el agua de puntos sensibles como puertas, ventanas, áreas de paso, y fuentes eléctricas. PRICASA S.A., ya cuenta con una red de colectores en los techos y bajadas de agua en sus naves. Estas se encuentran instaladas en los costados y al centro de la nave, y están conectadas directamente a la red de alcantarillado pluvial, el cual pasa a la orilla de cada nave. En la nave analizada, las canaletas se encuentran corroídas y deterioradas, por lo que se deberán cambiar por nuevas. Las canaletas que se deben colocar deben poseer las características que se mencionan en los siguientes apartados.

#### **3.2.1. Dimensionamiento**

El utilizar canaletas, es el principio del aprovechamiento de toda el agua captada por los techos. Las canaletas demasiado pequeñas no serán capaces de transportar toda el agua captada, y por lo tanto, se desperdiciará el agua captada. Por contraparte, una canaleta demasiado grande incrementará el costo del sistema, y provocará un estancamiento en el agua captada, incrementando el crecimiento biológico en esta área.

Para encontrar el área transversal que las canaletas deben tener, se utiliza la ecuación de continuidad de flujos (ecuación 6).

$$A_{tc} = \frac{Q_c}{v_c} \quad \text{[Ecuación 6]}$$



Donde:

Atc: área de la sección transversal de la canaleta (m<sup>2</sup>).

Qc: flujo volumétrico en la canaleta (m<sup>3</sup>/s).

Vc: velocidad del flujo en la canaleta (m/s).

La velocidad del flujo para canaletas con pendiente entre los valores de 4 al 6 por ciento, es de 1,2 metros por segundo. El flujo volumétrico en la canaleta se encuentra mediante la ecuación 7. Dentro de la ecuación 7 es necesario calcular un parámetro conocido como tiempo para el máximo escurrimiento en el área, este parámetro se encuentra mediante las ecuaciones 8 y 9.

$$Q_c = \frac{0,278 * P_{p\text{m}\acute{a}x} * A_{M_i}}{T_p} \quad \text{[Ecuación 7]}$$

Donde:

Qc: flujo volumétrico en la canaleta (m<sup>3</sup>/s)

Pp<sub>m</sub><sup>á</sup>: precipitación promedio máxima (mm o lt/m<sup>2</sup>)

AM<sub>i</sub>: área mínima estimada en km<sup>2</sup> (0,0016 m<sup>2</sup>).

Tp: tiempo para el máximo escurrimiento en el área (h)  
(Ecuación 8)

$$T_p = 2\sqrt{T_c} + 0,6T_c \quad \text{[Ecuación 8]}$$

Donde:

Tp: tiempo para el máximo escurrimiento en el área (h)

Tc: tiempo de concentración (h) (Ecuación 9).

$$Tc = 0,000325 \left( \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \right) \quad \text{[Ecuación 9]}$$

Donde:

- Tc: tiempo de concentración (h)
- L: longitud del área de captación (m)
- S: pendiente media (%).

Los datos necesarios para el cálculo de las canaletas son:

- Longitud del área de captación: 35,4 metros
- Pendiente media del diseño: 5%
- Precipitación promedio máxima registrada: 243,15 milímetros
- Área mínima de captación: 0,0016 kilómetros cuadrados. Dividido en dos áreas de 0,0004 kilómetros cuadrados cada una, y otra área de 0,0008 kilómetros cuadrados
- Velocidad del flujo: 1,2 metros por segundo

Con el uso de las tres anteriores ecuaciones se ha definido el área transversal óptima para las canaletas. En la nave se deben colocar tres juegos de canaletas, una a cada extremo y una en la parte central de la nave, es por esta razón que el área mínima de captación ha sido dividida en tres. La canaleta del centro de la nave, debe tener una canaleta de media caña con un diámetro de 18 pulgadas. Las canaletas de los extremos deben ser media caña con un diámetro de 12 pulgadas. Estas medidas aseguran que no abran pérdidas en el sistema.

### **3.2.2. Materiales**

La nave analizada, ya cuenta con canaletas metálicas alrededor de los techos. Sin embargo, debido a su prolongado uso, estas muestran corrosión en ciertas áreas. Por lo que, se deberá cambiarlas. Las canaletas industriales deberán ser metálicas, para prolongar su vida útil, así como resistencia a desgastes por el medio ambiente.

Cuando se compren las canaletas, se debe buscar aquellas que posean el mayor espesor. De preferencia, los materiales utilizados en estos elementos, deben ser vírgenes. De no ser posible, los materiales que deben seguir en la lista son aquellos que han sido reciclados, la cuestión con estos materiales es que, pueden presentar inconsistencias en la dureza del material, además podrían contener sustancias no potables disueltas en su estructura. Las canaletas hechas con este material son más propensas a sufrir daños por ramas, o al momento de ser sometidas a cargas por escaleras, cuando es necesario hacerles mantenimiento.

Los materiales para las canaletas más utilizados son: aluminio, acero galvanizado, acero inoxidable y plástico. Las canaletas de acero galvanizado son la opción más económica, además son más resistentes que las canaletas de aluminio, sin embargo, estas canaletas están propensas a sufrir corrosión con el tiempo. Tanto las canaletas de acero galvanizado, como las de aluminio, son las más utilizadas. En cuanto a las canaletas de acero inoxidable, aunque son las más caras, éstas presentan una mayor resistencia a cargas, se mantienen libres de corrosión, y poseen la mayor vida útil de todas.

Existe una opción no metálica para las canaletas, estas son las canaletas de vinilo o, como comúnmente se les llama, canaletas plásticas. Estas tienen la ventaja de que están libres de cualquier ataque de corrosión, y son económicas. Sin embargo, este tipo de canaletas son frágiles en su manejo, y puede presentar problemas si se expone a altas o bajas temperaturas. Por lo tanto, el orden recomendado en la búsqueda de canaletas, para el reemplazo por las anteriores es: canaletas de acero inoxidable, acero galvanizado, aluminio, y por último las de vinilo.

### **3.2.3. Instalación**

Para evitar el uso de sistemas hidráulicos o de un sedimentador para reducir la velocidad del agua, al mismo tiempo de que se sedimentan los sólidos suspendidos contenidos en el agua captada, la pendiente de las canaletas no debe exceder un 10 por ciento, siendo la pendiente óptima entre los valores de 4 por ciento al 6 por ciento, de este modo se asegura que la velocidad se encuentra cercano a un valor de 1,2 metros por segundo.

Se debe colocar una malla sobre la canaleta, para evitar que sólidos de gran tamaño se introduzcan al sistema. Esta malla puede ser metálica o plástica, como los protectores que se utilizan en las piscinas. Esta malla debe estar ajustada a la canaleta y sujeta por ambos extremos por medio de tornillos y tuercas, a una distancia de dos metros entre ellos.

Por otra parte, las canaletas deben tener un orificio, para los cuellos de las bajadas de agua, a una distancia de 6 metros entre ellos. Actualmente las bajadas de agua se encuentran a esta distancia, por lo que las nuevas canaletas deben respetar este parámetro.

### **3.2.4. Mantenimiento**

Esta parte del sistema estará sometido a cargas cinéticas, por lo tanto, es necesario mantener un control frecuente en la tubería, soportes, y uniones de las canaletas y bajadas de agua. Las consideraciones de mantenimiento en esta parte del sistema son:

- Inspección cada 6 meses de cables tensores en las canaletas, así como en los soportes para las bajadas de agua. Cualquiera de los componentes que se encuentren rotos, dañados o faltantes deben ser reemplazados.
- Cada 6 meses hacer una limpieza de la vegetación, moho o cualquier material indeseado en las canaletas. Prestar atención a materiales acumulados en los cuellos de las bajadas de agua. Una vez estén limpias las canaletas, corroborar que la pendiente mantenga un valor entre 4 al 6 por ciento, por medio de un nivel calibrado, y haciendo circular agua a través de ellas.
- Podar árboles que se encuentren cerca de las canaletas, asegurando que estos se encuentren por lo menos a dos metros de distancia.
- En caso de que las mallas de los protectores para los cuellos de las bajadas se encuentren dañados, se deben reemplazar por nuevos.

### **3.3. Interceptor de primeras aguas**

Un interceptor de primeras aguas, es un dispositivo compuesto por dos elementos. El primero es un tanque de poco volumen, en el cual se almacena una porción de las primeras lluvias captadas por el sistema. Este tanque tiene una válvula de descarga hacia la red de alcantarillado pluvial o se puede desviar para utilizar esta agua en otros fines. El segundo elemento es un flote que funciona como válvula de paso, la función de este flote es permitir que el tanque se llene, y al estar lleno el flote cierra el paso y deja habilitado el paso para que el agua captada por el sistema sea almacenado en el cisterna, y en tanque de seguridad. Este elemento también cuenta con una válvula, la cual habilita o deshabilita el interceptor del sistema.

#### **3.3.1. Uso**

El uso de este elemento, es evitar que la contaminación que se acumulado en los techos, durante la época no lluviosa del año, ingrese al sistema, al momento en que el sistema sea habilitado, durante su época de funcionamiento. El agua que se almacena en este tanque, puede ser utilizada para otros fines como lavado de automóviles, limpieza de inodoros, regar jardines o puede ser desechada mediante la red de alcantarillado pluvial.

#### **3.3.2. Ventajas y desventajas**

Claramente la ventaja más importante apreciable tras el uso de este elemento, es la disminución en la contaminación del agua que se desea utilizar para los productos en PRICASA S.A., sin embargo, el utilizar este elemento presenta otras ventajas, enlistadas a continuación:

- Reduce la probabilidad de atascamientos dentro del sistema, provocados por elementos extraños de gran tamaño.
- El mantenimiento dentro del tanque de seguridad se torna menos frecuente, ya que la suciedad no queda atrapada dentro del tanque.
- El sistema de filtrado anterior a la entrada del tanque de almacenamiento necesita menos mantenimiento.

Aún así el dispositivo tiene ciertas desventajas, las cuales se enlistan a continuación

- No se puede hacer un correcto mantenimiento en el área de las válvulas de acondicionamientos de flujos, porque esa parte queda sellada, para evitar fugas.
- El depósito para almacenamiento de las primeras aguas no puede ser limpiado periódicamente, ya que este se encuentra sellado. Aun así la válvula de descarga es de un tamaño considerable, para evitar el acumulamiento de grandes materiales sólidos.
- Si el dispositivo falla, se debe cambiarlo, ya que sus piezas están selladas, por lo tanto, no se puede desarmar y hacer las reparaciones pertinentes.

### 3.3.3. Dimensionamiento

El tanque del interceptor de primeras aguas, debe asegurar al sistema que los sólidos que se han colado tras las mallas de protección de las canaletas, no entren al agua. Para ello, el volumen que debe almacenar debe representar un porcentaje del agua que ha sido almacenada durante el período de lavado de techos. La tabla XI, muestra el volumen que el interceptor de aguas debe tener.

Tabla XI. Dimensiones para el interceptor de primeras aguas

Área de captación (m <sup>2</sup> )	Volumen del interceptor (galones)
0 - 90	5 – 10
90 – 4 000	10 / 90m <sup>2</sup>
4 000 - más	500 – 1 000

Fuente: Design for Water. Heather Kinkade-Levario. p. 74.

Al tener un techo de 1 600 metros cuadrados es posible estimar que el volumen del interceptor de primeras aguas debe ser de 180 galones. La forma del tanque debe ser cilíndrica, y sus medidas deben ser de 1,0 metro de diámetro y 0,9 metros de altura. Este volumen se calcula a partir de la siguiente relación.



$$V_{ipa} = \frac{AMi}{9} \quad \text{[Ecuación 10]}$$

Donde:

V<sub>ipa</sub>: volumen del interceptor de primeras aguas (galones).

AMi: área mínima de captación (m<sup>2</sup>).

### **3.3.4. Materiales**

El mejor material para hacer este interceptor es el plástico. Dicho material presenta la ventaja de ser impermeable en sus uniones, y se puede encontrar una gran cantidad de formas, lo cual es de gran ayuda para el diseño del interceptor de elementos. El plástico recomendado a utilizar en este dispositivo es el PVC, ya que este material es muy confiable y tiene una larga vida, dándole así, la confiabilidad al dispositivo.

Actualmente existe una tendencia a utilizar; bambú en canaletas, conductores e interceptores de primeras aguas. El uso del bambú presenta dos ventajas importantes, la primera es su bajo costo, comparado con el PVC el bambú tiene un menor costo, y la segunda ventaja es que este material presenta una mejor estética que cualquier otro material utilizado. Sin embargo, la vida de los dispositivos hechos con este material es más corta. También se puede hacer el interceptor de metales, como el acero, aluminio, hierro dulce, etc., sin embargo, el costo del dispositivo se elevaría innecesariamente tras realizarlo con dichos materiales.

### **3.3.5. Acople al sistema**

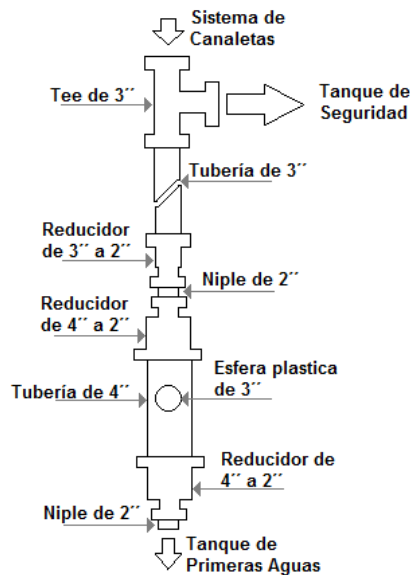
El dispositivo cuenta con una válvula de descarga al fondo del tanque del interceptor. Dicha válvula permite vaciar el tanque, después de cada evento de lluvia.

Las piezas que se necesitan para hacer el flote de válvula que cambia el paso entre el tanque de seguridad y el tanque interceptor son:

- Una tee de 3 pulgadas
- Tubería de 3 pulgadas
- Un reductor de 3 a 2 pulgadas
- Dos niple de 2 pulgadas
- Dos reductor de 4 a 2 pulgadas
- Tubería de 4 pulgadas
- Una esfera plástica de 3 pulgadas
- Para poder unir el interceptor al sistema de tuberías es necesario colocar antes de la tee de 3 pulgadas, un niple de 3 pulgadas, y antes a este un reductor de 6 a 3 pulgadas

En la figura 12, se muestra cual es el orden, en el cual se deben colocar las piezas anteriores y así crear el flote mencionado.

Figura 12. **Flote del interceptor de primeras aguas**

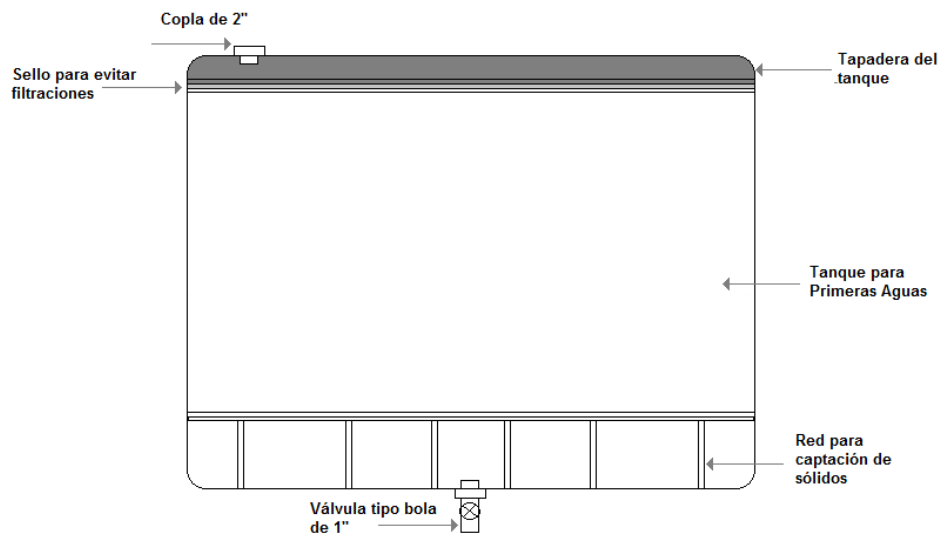


Fuente: elaboración propia.

Al estar lleno el tanque para primeras aguas, la tubería de cuatro pulgadas se llena de agua, esto hace que la esfera plástica suba, obstruyendo así el paso del agua por la diferencia de diámetros. Esta obstrucción obliga al agua proveniente del sistema de canaletas cambiar su curso hacia el tanque de seguridad. Una vez terminado el evento de lluvia, el tanque de primeras aguas se vacía por medio la válvula de descarga, provocando a su vez que la esfera plástica baje de nuevo, y habilitando el paso del agua hacia el tanque de primeras aguas.

El diseño del tanque para primeras aguas, esta mostrado en la figura 13. El dispositivo cuenta con una coplea de 2 pulgadas en la parte superior para unirlo con el flote de dirección de flujo, La tapadera del tanque es necesaria porque si el tanque es una pieza única, no se puede hacer limpieza y reparaciones dentro de él. El sello evitará fugas en el tanque, por lo que, no habran cambios repentinos en la dirección del flujo. La red de captación es una malla, en la cual todos los elementos sólidos quedan atrapados, por lo que el agua captada en este tanque se le puede dar un uso no potable. Finalmente, la válvula de bola es un mecanismo de liberación rápida, por medio de la cual se vacía el tanque, para su posterior uso.

Figura 13. **Tanque para el almacenamiento de primeras aguas**



Fuente: elaboración propia.

### **3.3.6. Mantenimiento**

El mantenimiento que se debe dar a este dispositivo, se enlista a continuación.

- El agua contaminada debe ser descargada del dispositivo, después de cada evento de lluvia.
- Compruebe si hay obstrucciones en el funcionamiento del dispositivo, antes y después de la época lluviosa.
- En caso de que se agreguen almohadas a base de petróleo, para la absorción de materiales, se debe chequear el nivel de los mismos para agregar las cantidades faltantes.
- El tanque debe ser lavado por medio de agua a presión antes y después de la temporada lluviosa el año.

### **3.4. Conductores**

Son la parte del sistema encargada de enlazar la captación con el almacenaje. Los conductores son una red de tuberías las cuales agrupan todas las bajadas de agua en una sola tubería. Dicha tubería se conecta al flote del interceptor de primeras, y en consecuencia al tanque de seguridad.

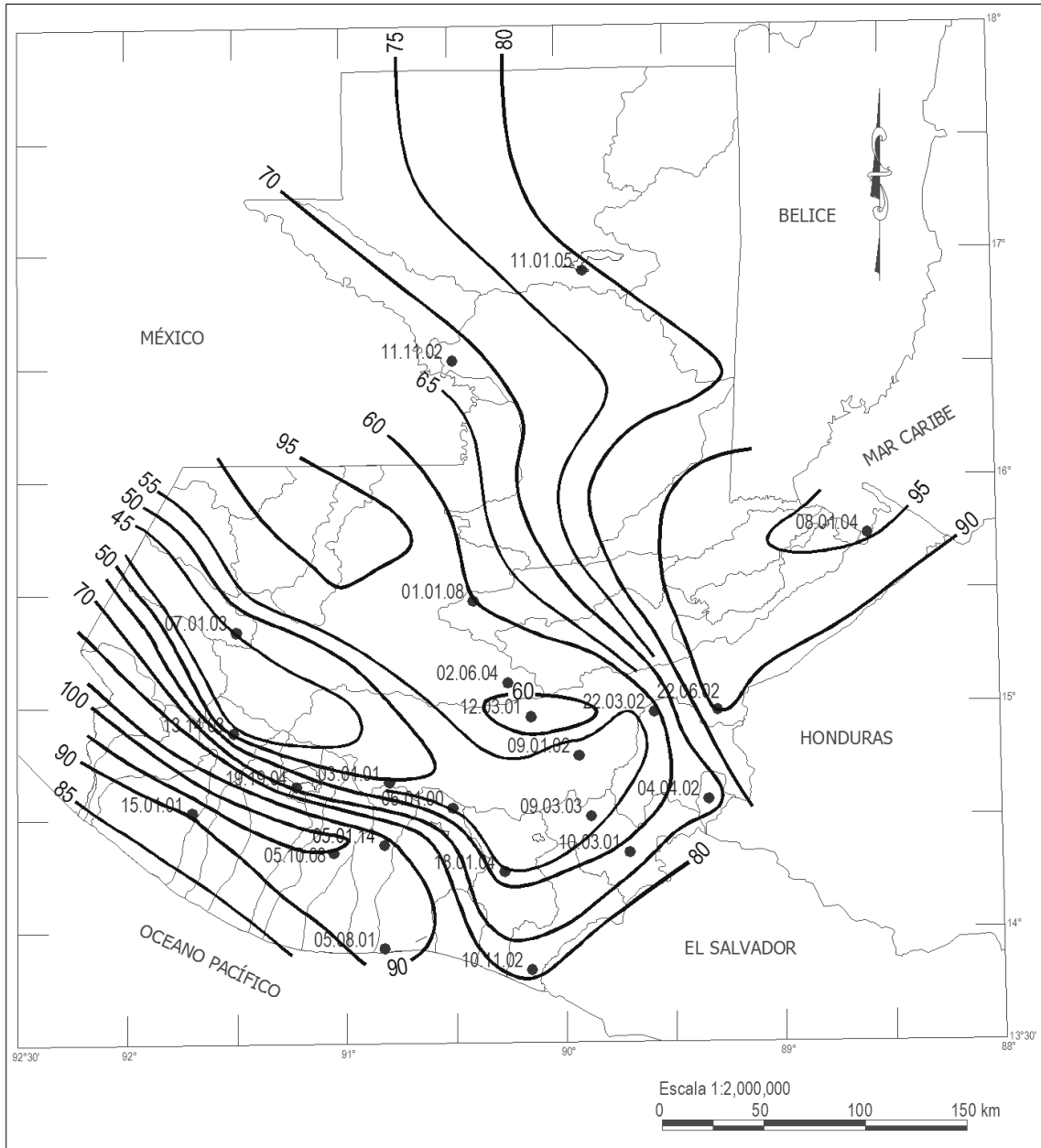
### **3.4.1. Dimensionamiento**

El diámetro de las tuberías conductoras no puede ser el mismo durante toda la red de agrupación de caudales. Esta afirmación es debido a que; al agrupar dos o más caudales dentro de una tubería del mismo diámetro a las anteriores, la velocidad y la presión interna dentro de la tubería aumentan, lo cual aumenta la probabilidad a una ruptura de la tubería. Para evitar este peligro, el diámetro de la tubería en la cual se estén agrupando los caudales, debe asegurar que la velocidad del fluido no varíe con respecto a la velocidad que el fluido trae de la bajada de agua.

Si se mantiene la velocidad del fluido durante todo el trayecto de la red de agrupación, la presión interna que se genera dentro del cuerpo de la tubería no sobrepasa los límites establecidos por el proveedor. El diámetro de la tubería está definido por ecuación 11, la cual es una modificación de la ecuación de continuidad.

Para poder encontrar el caudal circulando dentro de las bajadas de agua, es necesario conocer la intensidad de lluvia máxima permisible en el área analizada. Este parámetro indica la razón de los milímetros precipitados en una hora. Para definir la intensidad de lluvia en el área en que se encuentra el sistema, se hará uso del siguiente mapa, este mapa fue elaborado en el 2002, por el departamento de investigación y servicios hídricos del INSIVUMEH, aquí se muestra la distribución de la intensidad de lluvia en el país.

Figura 14. Distribución de la intensidad de lluvia en el país



Fuente: Departamento de investigación y servicios hídricos, INSIVUMEH.

Se puede observar que para el departamento de Guatemala, la intensidad de lluvia varía entre 50 y 55 milímetros por hora. A partir de este dato es posible calcular el caudal que circula por las bajadas de agua. La expresión que se utiliza es la siguiente.

$$Q_t = \frac{C_e \cdot I \cdot A_{Mi}}{3\,600\,000} \quad \text{[Ecuación 11]}$$

Donde:

- Qt: caudal circulante por las bajadas de agua (m<sup>3</sup>/s)
- Ce: coeficiente de escorrentía (%)
- I: intensidad de lluvia (mm/h)
- AMi: área de captación del diseño (m<sup>2</sup>)

Utilizando un coeficiente de escorrentía de 0,8 (tabla I), una intensidad de 55 milímetros por hora, y el área de captación de 1 600 metros cuadrados. Se ha estimado que el caudal circulante total en el sistema de 0,0196 metros cúbicos por segundo. Si se sabe que, PRICASA S.A. cuenta con dieciocho bajadas de agua, distribuidas ecuánimemente en tres grupos, a lo largo de la nave 1, el caudal que cada bajada de agua debe transportar es aproximadamente de 0,0011 metros cúbicos por segundo. Estas bajadas de agua están hechas de PVC, y tienen un diámetro de 3 pulgadas. Por lo tanto, la velocidad del fluido dentro de las bajadas de agua es el siguiente:

$$V_b = \frac{1\,973,525 \cdot Q_t}{\phi^2} \quad \text{[Ecuación 12]}$$



Donde:

- Vb: velocidad dentro de las bajadas de agua (m/s)
- Qt: caudal total circulante por las bajadas de agua (m<sup>3</sup>/s)
- ∅<sup>2</sup>: diámetro de la tubería (pulgadas)

Por medio de la ecuación anterior se ha estimado la velocidad que el fluido tiene dentro de cada bajada de agua es de 0,241 metros por segundo. El Manual del *U.S Army Corp of Engineers*, que lleva por título *Liquid Process Piping*, recomienda que la velocidad de flujo para aplicaciones normales, se encuentre entre los valores de 1,2 a 3,0 metros por segundo, Por lo tanto, es apreciables que la velocidad del fluido de las bajadas es por debajo del mínimo recomendando. Al no sobrepasar los límites de velocidad, los flujos individuales de las bajadas de agua, es posible agrupar los flujos en tuberías unificadoras de caudales.

Siguiendo el código asignado a las bajadas de agua y a las tuberías en la figura 15, se han agrupado a la tubería TI, las bajadas de agua BI1, BI2, BI3; BI4, BI5, BI6. A la tubería TC, las bajadas de agua BC1, BC2, BC3; BC4, BC5, BC6. A la tubería TD las bajadas de agua BD1, BD2, BD3; BD4, BD5, BD6. Y Finalmente en la tubería TM, las tuberías TI; TC y TD. Utilizando una modificación de la ecuación de continuidad de fluidos, mostrada contigua a este párrafo, ha sido posible encontrar el diámetro de las tuberías TI, TC, TD y TM. Las tuberías TI, TC y TD, deben tener un diámetro de 3 pulgadas. En el caso de la tubería TM, el diámetro recomendado es de 6 pulgadas.

$$\emptyset = \frac{5000}{127} * \sqrt{\frac{4 * \sum Qi}{\pi * Vt}} \quad \text{[Ecuación 13]}$$

Donde:

$\phi^2$ : diámetro de la tubería (pulgadas)

$V_t$ : velocidad del diseño del flujo en la tubería (1,2 m/s)

$\sum Q_i$ : Sumatoria de los caudales interesados en agrupar ( $m^3/s$ )

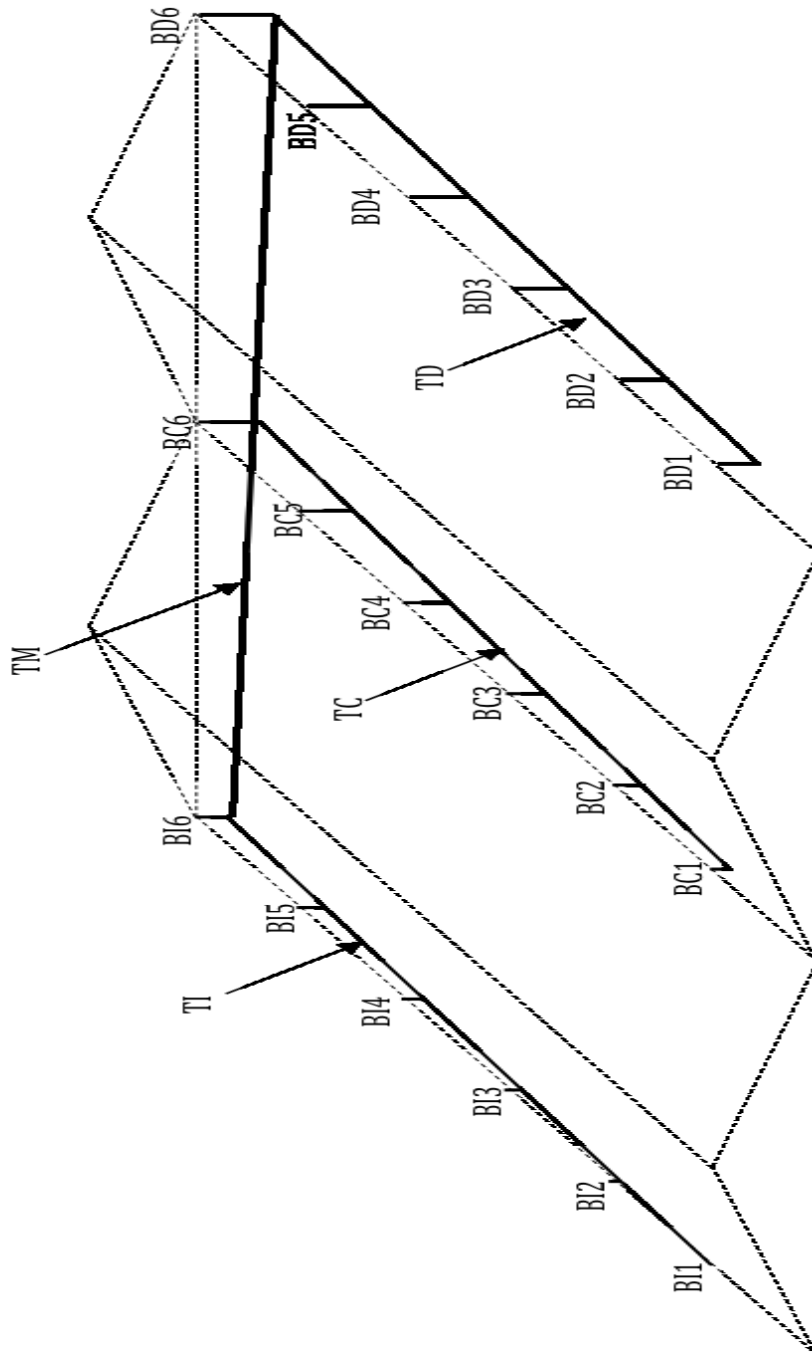
### **3.4.2. Materiales**

Las tuberías más comunes para conducir agua, sin actividad química, son las tuberías de materiales plásticos. Estas tuberías están compuestas de un polímero único, o como resultado de la combinación de varios polímeros. En el caso de las tuberías de un solo polímero se encuentran las tuberías de polímeros de vinilo (PVC), de propileno, de etileno (PE), de butileno (PB). En el otro caso, se tienen las tuberías de acrílico nitrilo butadieno estireno (ABS), las de celulosa acetato butirato (CAB).

### **3.4.3. Instalación**

Al tener tres grupos de bajadas de aguas, dos a los costados y una al centro de la nave, es necesario ir agrupando poco a poco los flujos de agua captada. Cada grupo de bajadas de aguas son agrupadas a una tubería, la cual conduce el flujo hacia el frente de la nave. En este punto las tres tuberías de las bajadas son agrupadas en una nueva tubería, la cual ya es conectada al resto del sistema. Para una identificación más rápida de cada tubería y bajada de agua, se les ha asignado un código, este se muestra en la figura 15.

Figura 15. Código asignado a bajadas de agua y tuberías



Fuente: elaboración propia.

Para poder encausar todos los caudales provenientes de las bajadas de agua, es necesario que toda la red de agrupación tenga una pendiente hacia un punto único. Este punto se encuentra en la esquina superior derecha de la nave 1, esto se debe a que el cisterna de la compañía se encuentra en esa área, por lo que, para disminuir costos, el resto de los elementos del sistema deben estar colocados cerca al cisterna. Para lograr el declive hacia el punto mencionado, cada bajada de agua debe tener un largo único, medido desde su unión con las canaletas. La combinación de estos largos se enlista en la tabla XVII, éstos harán que al red tenga la inclinación deseada.

Tabla XII. **Largo de cada bajada de agua**

<b>Tubería</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Tubería</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Tubería</b>	<b>Largo (m)</b>
BI1	0,00	BC1	0,66	BD1	0,98
BI2	0,15	BC2	0,83	BD2	1,15
BI3	0,32	BC3	0,98	BD3	1,32
BI4	0,49	BC4	1,15	BD4	1,49
BI5	0,66	BC5	1,32	BD5	1,66
BI6	0,83	BC6	1,49	BD6	1,83

Fuente: elaboración propia.

Para poder unir las bajadas de agua a las tuberías que transportan el agua fuera de la nave, es necesario el uso de algunos accesorios para tuberías. Estas consideraciones se enlistan a continuación

- En las bajadas BI1, BC1, y BD1, es necesario colocar un codo de 3 pulgadas.
- En el caso de las demás bajadas de agua, se debe colocar una tee de 3 pulgadas.
- Además en la bajada BI6, es necesario colocar un niple de 3 pulgadas, seguido de un reductor de 6 a 3 pulgadas, luego un niple de 6 pulgadas y finalmente un codo de 6 pulgadas, todo lo anterior seguido de la tee de 3 pulgadas.
- Por otra parte, en la unión de la bajadas BC6 y BD6, se necesita colocar un niple de 4 pulgadas, seguido de un reductor de 6 a 4 pulgadas, luego un niple de 6 pulgadas y finalmente una tee de 6 pulgadas, todo lo anterior seguido de la tee de 4 pulgadas.
- Finalmente, las tuberías TI, TC, TD, TM deben estar unidas al techo de la nave, por medio de cables tensores, a una distancia de 5 metros, entre ellos.

#### **3.4.4. Mantenimiento**

Esta parte del sistema es la que menos mantenimiento necesita, sin embargo, existen ciertos factores que se deben cuidar para preservar la integridad del sistema. Éstos factores se presentan a continuación

- Revisar cada 6 meses los cables tensores de las tuberías TI, TC, TD, TM. En caso de que presenten corrosión, cambiarse.
- En el mismo período de tiempo, buscar posibles filtraciones, en las uniones entre los accesorios de las tuberías y bajadas de agua. En caso hubiesen, colocarles pegamento para tubería, para tapar la filtración.

#### **3.5. Depósito de seguridad**

Debido a que PRICASA S.A., ya cuenta con un cisterna en sus instalaciones, no es necesario utilizar un gran depósito para almacenar el agua captada, ya que esta puede ir directamente al cisterna.

##### **3.5.1. Uso**

El uso que le dará al tanque de seguridad, es asegurar que el cisterna nunca se quede vacío. Se debe tener claro que el tanque solamente es un apoyo al cisterna como medio de almacenamiento, ya que la mayoría de agua captada estará almacenada en el depósito de seguridad. Al asegurarse que el cisterna siempre tenga agua, la producción se regularizará, por consiguiente, los paros por falta de este insumo.

### **3.5.2. Dimensionamiento**

Debe estar claro que, hasta el momento, toda el agua que es requerida en PRICASA S.A., estuvo en algún momento dentro del cisterna de las instalaciones. Esta afirmación servirá para estimar si es necesario el depósito de seguridad o no, y por lo tanto, su volumen.

Si se sabe que el cisterna tiene un volumen de 9000 galones, aproximadamente 34,06 metros cúbicos, y que el consumo es un parámetro medido en metros cúbicos. Se puede estimar que el radical del consumo de EMPAGUA para cualquier mes entre el volumen del cisterna, indica la rotación del cisterna, y por lo tanto, la rotación de la oferta de EMPAGUA, este parámetro se le conocerá como rotación oferta inicial. Por otra parte, si se suma el consumo registrado de EMPGUA con las compras de fuentes externas, y se divide entre el volumen del cisterna, se obtiene la rotación en el cisterna requerida por PRICASA S.A., para mantener sus operaciones, sin ningún contratiempo.

Ahora bien, una vez implementado el sistema de captación, la rotación del cisterna se verá afectada. Esta nueva rotación se le denominará rotación oferta final. Para estimar esta rotación se debe sumar el consumo registrado de EMPAGUA, y el volumen captado para el mes de interés, y dividirse respecto al volumen del cisterna. Si al comparar la rotación requerida por PRICASA S.A., y la rotación oferta final, existe alguna rotación cuyo valor sea mayor en el primer parámetro con respecto al segundo, se deberá multiplicar el volumen del cisterna con la diferencia entre las rotaciones anteriores. Esta multiplicación indicará el volumen necesario para el depósito de seguridad. La tabla XIII, indica los cálculos descritos anteriormente

Tabla XIII. Cálculos para el depósito de seguridad

Mes	Consumo EMPAGUA (m <sup>3</sup> )	Compra fuente externa (m <sup>3</sup> )	Captado con sistema (m <sup>3</sup> )	Rotación inicial cisterna	Rotación requerida	Rotación final cisterna
Mayo	241,20	0,00	56,98	7	7	9
Junio	250,61	0,00	102,79	7	7	10
Julio	303,55	56,80	129,30	9	11	13
Ago	302,10	43,54	66,18	9	10	11
Sep	364,07	18,92	98,29	11	11	14
Oct	329,36	0,00	51,08	10	10	11

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en las últimas dos columnas de la tabla anterior, en ninguno de los valores, para la época en que el sistema estará en funcionamiento, la rotación requerida es mayor que la rotación final del cisterna. Por lo que, se puede concluir que, una vez aplicado el sistema de captación, no es necesario el uso de un depósito de seguridad para asegurar la regularidad en la producción. Sin embargo, al esperar un crecimiento en la producción en el futuro, es prudente la instalación de uno en el sistema. Los volúmenes más comunes para cisternas prefabricadas son: 1 000, 3 000, 5 000 y 10 000 litros. Se aconseja la adquisición de un cisterna de 5 000 litros para el sistema. Este dispositivo tiene una forma cilíndrica, con un diámetro de 2,20 metros, y una altura de 1,60 metros.



### **3.5.3. Materiales**

Los materiales más utilizados en la construcción de tanques, son los siguientes: plásticos, metálicos, concreto y madera. Los materiales plásticos más utilizados son la fibra de vidrio, polietileno y PVC. En el caso de los materiales metálicos, los más comunes son el acero galvanizado, y el inoxidable. Para las de concreto existe el ferrocemento, y el hormigón. Finalmente en la madera, las más comunes son la madera roja, el abeto, y el ciprés.

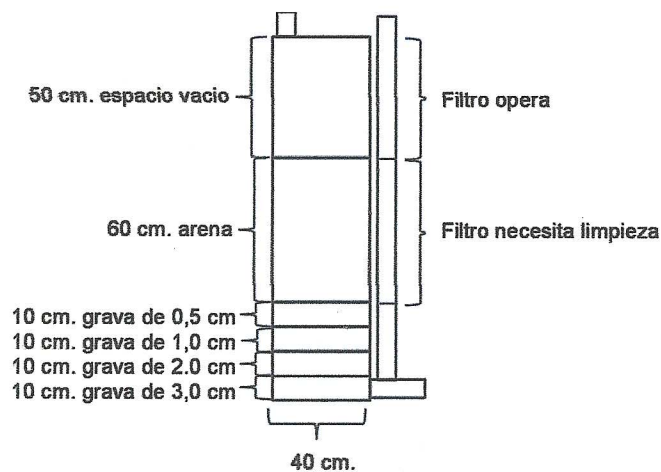
Los depósitos plásticos, en especial los fabricados de polietileno, son ampliamente utilizados para el almacenamiento de agua, esto se debe a su flexibilidad en la forma, tamaño y color. Este material puede utilizarse superficialmente o enterrado, es fácil de transportar e instalar, durable, con buenos acabados sanitarios. Al tener todas estas cualidades, este es el material por excelencia para este fin.

Sin embargo, los mencionados con anterioridad también reúnen características interesantes, que no se deben pasar por alto. Por ejemplo, los cisternas de concreto pueden fabricarse sumamente rápido, a un bajo costo, y para altos volúmenes, pero no se recomiendan para áreas sísmicas, ya que se fisuran con facilidad. En el caso de los depósitos metálicos, son los más rápidos a la hora de su construcción, pero están fuertemente ligados a la corrosión, por su exposición al agua. En fin, todos los demás materiales pueden utilizarse para la construcción de depósitos, sin embargo, se debe analizar la situación en la que estará expuesto, y los fines que le adjudiquen al agua ahí almacenada.

### 3.5.4. Acople al sistema

Aunque el agua que proviene de la captación es bastante limpia y la empresa cuenta con un sistema de filtrado de carbón activado, para el agua que viene del servicio municipal, es una buena idea hacer pasar el agua captada por un sistema de filtrado, para ello se utilizará un filtro artesanal para agua. Este dispositivo se instala entre la salida del interceptor de primeras aguas, y la entrada al depósito de seguridad. La salida del filtro debe estar por encima del nivel de entrada al depósito de seguridad. Su función es colar todas aquellas impurezas que el agua puede llevar, para que no lleguen a la cisterna. Las medidas que el dispositivo debe poseer, se especifican en la figura 16. La tubería mostrada en la figura 16, a la par del filtro, debe ser transparente, y debe estar graduada con los niveles mostrados. Este nivel indicará si el filtro funciona correctamente.

Figura 16. Filtro artesanal para agua



Fuente: elaboración propia.

En cuanto al depósito de seguridad, este debe poseer una salida hacia la red del alcantarillado pluvial, a la altura en la cual el flote del tanque indique que este se encuentra lleno. Esta salida debe ir conectada directamente a la red de alcantarillado de las instalaciones. El diámetro de la tubería para esta salida debe ser 4 pulgadas, para evitar sobrepresiones.

### **3.5.5. Mantenimiento**

El mantenimiento que se debe realizar a este dispositivo, asegura la calidad del agua en los productos requeridos. Ya que en este elemento del sistema es donde el agua se mantiene ubicada la mayor parte del tiempo, es necesario tener presente las siguientes consideraciones.

- Inspeccionar todas las entradas y salidas del tanque, después de cada evento de lluvia. Eliminar cualquier bloqueo que se pudo haber producido.
- Inspeccionar que la tapa de acceso este cerrada fuertemente, para que los sellos eviten el ingresos de animales e insectos en el tanque.
- Inspeccionar las paredes del tanque, buscar fugas, y fisuras. Reparar todas las fallas encontradas.
- Compruebe que la superficie sobre la cual está colocado el depósito no muestre grietas, en un principio después de cada evento de lluvia. Con el tiempo se puede reducir la frecuencia hasta un chequeo anual.
- Revisar fugas en todas las uniones de los accesorios adheridos al tanque, en caso hayan, sellar evitando el uso de pegamentos, o cambiar la pieza dañada.

- Mantener dentro del tanque pastillas contra los mosquitos, para evitar su reproducción.
- Cada tres años, vaciar por completo el tanque, y realizar una búsqueda detenida de fisuras o fugas, sobre todo en la base del depósito.
- Revisar periódicamente que el flote del tanque este cumpliendo su función, revisar la inclinación mínima para ver si es el nivel recomendado.
- Después de cada época lluviosa, cuando el tanque ya se encuentre vacío, dejar el interceptor de primeras aguas abierto para evitar que agua se deposite dentro del tanque de seguridad.
- Cuando el tanque se encuentre vacío, luego de la época lluviosa, desconectarse por completo del sistema, y lavarse por completo en su interior.



#### 4. ANÁLISIS DEL SISTEMA COMO MEDIO SECUNDARIO DE ABASTECIMIENTO

Al contar con una nave de tamaño considerable, más dentro de las instalaciones, es posible mejorar el abastecimiento a la empresa, tras aplicar el mismo diseño que en la nave 1. Si se aplica el sistema en las otras dos naves, eventualmente se disminuirá la dependencia de EMPAGUA, y por lo tanto, los costos relativos al pago por este servicio. Con un área total extra para la captación de agua de 2 090 metros cuadrados, es posible captar un mayor volumen de agua que el requerido solamente para regularizar la producción. La tabla XIV, muestra el volumen que se podrá captar utilizando la otra nave

Tabla XIV. **Volumen captado con nave 2**

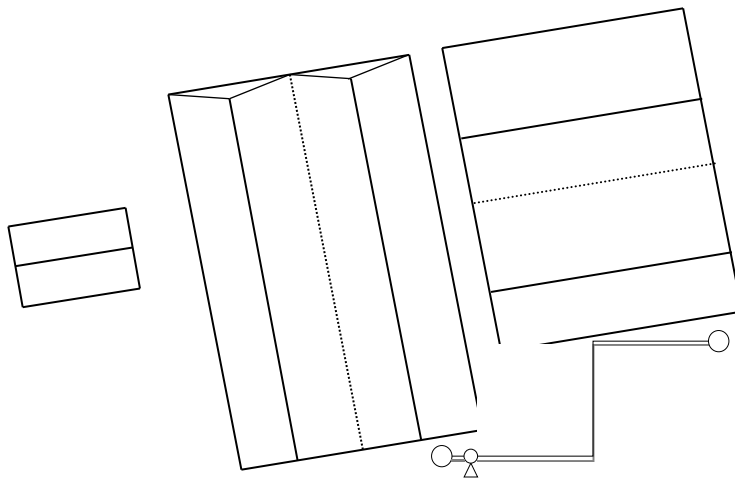
<b>Mes</b>	<b>Captado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mes</b>	<b>Captado (m<sup>3</sup>)</b>
mayo	81,56	agosto	94,73
junio	147,11	septiembre	140,68
julio	185,05	octubre	7311

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1. Modificaciones al sistema

Para poder unir el sistema anterior con la nueva parte, es necesario agregar ciertos elementos a la nave 2 , con el fin de que el agua recolectada en este punto sea trasladada hacia el sistema diseñado, específicamente hacia el cisterna. Los elementos necesarios en la nave dos son; una red de agrupación de caudales similar a la utilizada en la nave 1. Un depósito cuyo volumen sea capaz de almacenar toda el agua captada durante un día completo. Una bomba hidráulica cuya potencia sea capaz de transportar el agua almacenada hacia el depósito de seguridad en la nave 1. Un interceptor de primeras aguas, y un filtro para de depósito mencionado. La figura 17 ejemplifica la conexión necesaria entre los techos de las instalaciones.

Figura 17. **Acople entre los techos de las instalaciones**



Fuente: elaboración propia.

Las características del equipo necesario para la nave 2 son:

- La red de agrupación de caudales debe tener un diámetro de 4 pulgadas para la tubería que agrupa las bajadas de agua. Y un diámetro de 6 pulgadas, para el conducto que agrupa las cañerías de 4 pulgadas.
- Utilizando la distribución de la frecuencia promedio de días lluviosos (figura 9), y los volúmenes captados por mes (tabla XIV), se ha podido establecer que un depósito de 7 000 litros es capaz de almacenar toda el agua recolectada por el techo de la nave 2, por un día. Este depósito debe ser vaciado después de un evento de lluvia, para poder cumplir su función.
- Para poder vaciar el depósito de la nave 2, y transportar toda el agua captada hacia el depósito de seguridad, es necesario utilizar una bomba de  $\frac{1}{2}$  caballo de potencia.
- Tanto el filtro, como el interceptor de primeras aguas, deben ser igual a los diseñados para la nave 1.

Todo este equipo junto, permite transportar el agua captada en la nave 2 hacia el depósito de seguridad, y así simular una mayor área de captación en las instalaciones. La bomba hidráulica para este sistema de preferencia que sean de tipo centrífuga. Realizando estas modificaciones se podrá utilizar el nuevo sistema como un segundo medio de abastecimiento para PRICASA, ya que el volumen captado es significativo comparado con el consumo mensual.



## 4.2. Ventajas y desventajas

Aunque la ventaja más palpable del sistema es ayudar a reducir los costos por el consumo del agua proveniente de EMPAGUA, existen algunas otras ventajas perceptibles con la aplicación de estas modificaciones. Estas son:

- Existe una menor dependencia del servicio EMPAGUA, asegurando así la existencia de agua dentro de las instalaciones.
- Disminución de los costos incurridos por paros en la producción
- Mejor control de la producción y de los tiempos de entrega de productos.
- Se reduce la probabilidad de inundaciones por saturación de la red de alcantarillado pluvial.

Sin embargo, el aplicar estas modificaciones conlleva a ciertas desventajas. Estas desventajas serán situaciones que se deben tomar en cuenta en la decisión de hacer o no las modificaciones al sistema diseñado. Las desventajas encontradas son:

- Aumento en costo de energía eléctrica, provocado por el consumo de la bomba hidráulica.
- Al ser necesario el uso de la bomba hidráulica, se provocará un aumento en el mantenimiento necesario para el sistema. En general, el mantenimiento requerido por el sistema aumentará

- Será necesario un movimiento de tierras para poder instalar las tuberías que conecten las naves entre si.
- Aumento en la vulnerabilidad del sistema respecto a un cambio climático que afecte los índices de precipitación, provocando una disminución de los mismo.

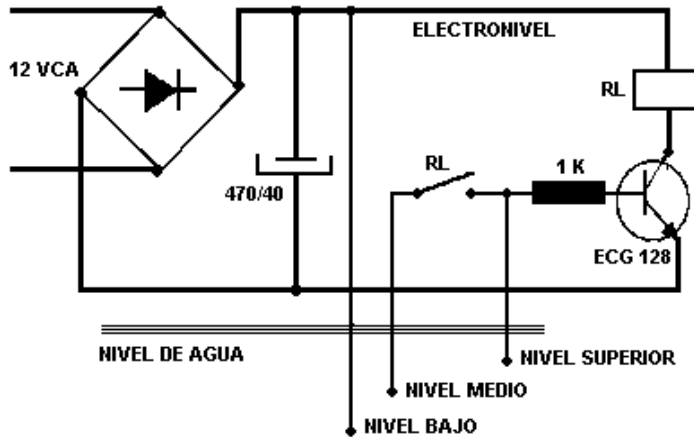
#### **4.3. Metodología de utilización**

Para poder utilizar el sistema con la mayor eficiencia, es necesario automatizar la unión entre los sistemas de las naves. Como ya ha quedado claro, el agua captada por el techo de la nave 2, es almacenado temporalmente en un depósito situado a su costado, y luego este es bombeado al depósito de seguridad, y por lo tanto al cisterna. Sin embargo, para poder hacer este bombeo de la manera más efectiva, es necesario automatizar el encendido y apagado, por medio de un circuito electrónico.

El circuito necesario para la función de encendido y apagado de la bomba se le conoce como: controlador de nivel de agua, y actualmente existen varios diseños de estos circuitos, listos y probados para poder ser utilizados. El diseño que se utilizará es el de Electrónica Unicrom.

Con un platino normalmente cerrado de relé, es posible controlar el arrancador de la bomba. En el tanque se deben colocar tres niveles, uno inferior, uno medio, y un superior. El nivel inferior y el medio deben estar colocados lo más cercano posible, mientras que el superior, lo más alejado que el tanque permita. Estos niveles se conectan al circuito, como se muestra en la figura 18.

Figura 18. Controlador de nivel de agua



Fuente: Electrónica Unicrom. [http://www.unicrom.com/cir\\_electronivel.asp](http://www.unicrom.com/cir_electronivel.asp).  
Consulta: febrero 2012.

El primer contacto, el nivel bajo siempre estará en contacto con el agua. Al momento de ir subiendo agua, esta hace contacto con el nivel medio, en este punto no pasa nada. El agua sigue subiendo y llega al nivel superior, en este punto se energiza el transistor ECG 128, y también el relé, haciendo funcionar el arrancador de la bomba.

Cuando la bomba comienza a succionar el agua, el nivel de esta baja, por consiguiente el nivel superior queda descubierto, sin embargo el transistor ECG 128 sigue energizado porque el platino del relé esta sostenido por el nivel medio. Cuando el nivel medio queda descubierto, el transistor queda sin energía, y por lo tanto el relé queda fuera, parando el motor de la bomba. Como se puede apreciar el nivel superior arranca la bomba, y el nivel medio apaga la bomba. El nivel inferior sirve para cerrar el circuito.

En el diagrama no aparece el transformador de 127 VCA/ 24 VCA (con TAP central para los 12 VCA), 1 puente rectificador de 1 amperio (o 4 diodos rectificadores para hacer el puente rectificador). Además son necesarios los siguientes materiales para realizar el circuito.

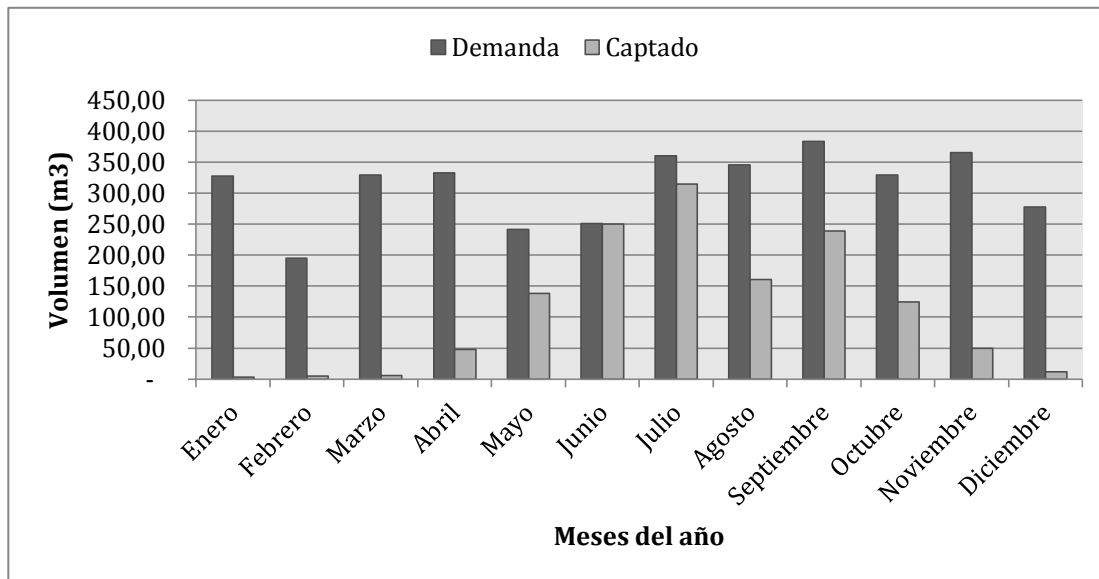
- 1 capacitor electrónico 470 uF/40 V
- 1 transistor ECG 128
- 1 resistencia de 1 kilohms.
- 1 relevador de 12 VCD (si se utiliza un relevador encapsulado de 5 pines, se tiene que utilizar un relevador de 8 pines, o un contacto tamaño cero para controlar el arrancador que puede ser de 127 voltios, 220 voltios y 440 voltios en el control).
- Los niveles pueden ser de varillas de acero inoxidable de 5/16 de pulgada, o ¼ de pulgada, con rosca para tuerca para la conexión en un extremo, y debe estar aislado del punto que se sostenga.

#### **4.4. Impacto económico**

Al hacer el análisis se ha podido apreciar que durante toda la época lluviosa, el uso de sistema es capaz de abastecer el 64,23 por ciento de todo el consumo que PRICASA S.A. realizada en estos meses. Aunque este valor varia respecto al mes analizado, se puede asegurar que; durante la época lluviosa, utilizando las dos naves principales como techos de captación, el sistema es capaz de ser el mayor abastecedor de agua para la empresa en los meses de mayo a octubre. Al analizar el sistema para una proyección anual, se ha podido observar que el sistema es capaz de suministrar el 36,09 por ciento de todo el consumo efectuado en un año completo.

Aunque el sistema no es capaz de ser el mayor suministrador durante todo el año, contribuiría con más de un tercio de toda el agua requerida por PRICASA S.A. La figura 19, muestra una comparación entre el consumo registrado en el 2010, y el volumen esperado a captar, para toda el área del sistema.

Figura 19. **Volumen captado contra volumen demandado**



Fuente: elaboración propia.

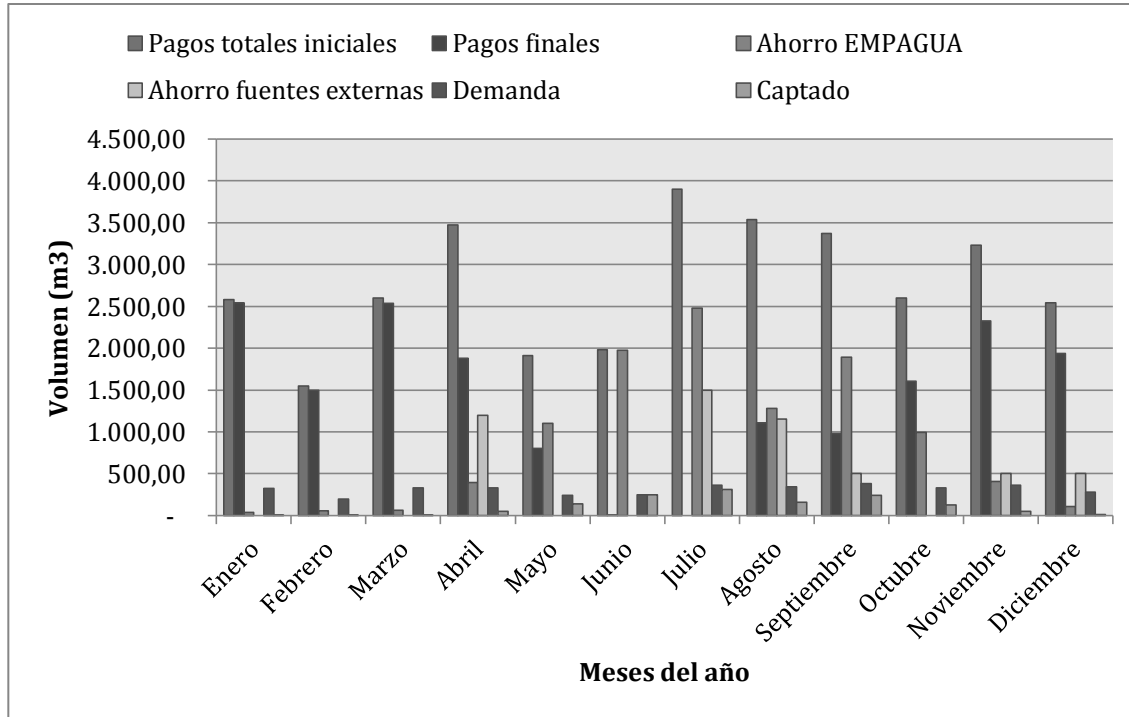
Estos valores, indican que utilizando el sistema durante todo el año, la empresa tendría un ahorro estimado de Q16 142,50; valor que representa el 48,50 por ciento de todo el costo incurrido. Este porcentaje varía respecto al 36,09 por ciento que indica el porcentaje del agua que puede ser provista por el sistema, debido a que el precio por unidad volumétrica varía entre EMPAGUA, y las fuentes externas que proveen también a la empresa. En la tabla XV, se muestran los ahorros esperados para cada mes, y el comportamiento se muestra en la figura 20.

Tabla XV. **Ahorros esperados con el uso del sistema**

<b>Mes</b>	<b>Ahorro fuentes externas (Q)</b>	<b>Ahorro EMPAGUA (Q)</b>	<b>Mes</b>	<b>Ahorro fuentes externas (Q)</b>	<b>Ahorro EMPAGUA (Q)</b>
enero	0,00	40,44	julio	1 500,65	2 482,41
febrero	0,00	54,72	agosto	1 150,33	1279,45
marzo	0,00	63,23	septiembre	499,87	1 891,44
abril	1 200,53	394,44	octubre	0,00	991,53
mayo	0,00	1 104,11	noviembre	499,87	404,30
junio	0,00	1 977,12	diciembre	499,87	108,20

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Erogaciones iniciales y erogaciones esperadas**



Fuente: elaboración propia.

## **5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

Aunque los beneficios del proyecto cubre la inversión inicial en el primer año, es necesario esperar hasta el segundo año después de instalado el sistema, para avistar tangiblemente los beneficios del uso del sistema. Esta es una de las razones por las que el proyecto será evaluado económicamente para un período de cinco años. La información que muestra la rentabilidad del proyecto, y el impacto económico que presentaría para PRICASA S.A., al ejecutar el proyecto, se muestra en las secciones de este capítulo.

### **5.1. Análisis de costos**

Los rubros que se tomarán en cuenta para el análisis de costos, son aquellos relacionados a la compra de materiales y dispositivos requeridos para la edificación del sistema. Las erogaciones incurridas en la instalación y puesta en marcha. Los gastos de operación y mantenimiento.

Dentro de la compra de materiales y dispositivos, se consideran; la canaletas, los conductores de la red de agrupamiento de flujos, los interceptores de primeras aguas, el depósito de seguridad para la nave 1, y el depósito temporal para la nave 2, los filtros antes de los depósitos, la bomba para el ensamble de los techos, los elementos del controlador de nivel, así como accesorios en cada uno de los mencionados.



### **5.1.1. Canaletas**

Si se conoce que el largo de una canaleta es de 2,40 metros, se puede precisar que son necesarias un total de 45 canaletas, para poder colectar toda la lluvia que escurrirá por los costados, y al centro de la estructura. Con un precio unitario estimado de Q70,00 por cada canaleta, se aproxima que la inversión para las canaletas de la nave 1 es de Q3 150,00. En el caso de la nave 2, no es necesario hacer el cambio de canaletas, porque estas se encuentran en buen estado.

Sin embargo, tanto las canaletas de la nave 2 como las nuevas requeridas por la nave 1, es necesario agregar una malla que proteja el agua de la intromisión de materiales indeseables. En el mercado local se puede adquirir malla electrosoldada, la cual tiene un largo de 2,40 metros y un ancho de 6 metros. Esta malla se divide en fragmentos de 0,25 metros de ancho, y de esta manera se fabrica la malla para las canaletas. Con un precio estimado de Q300,00 por cada malla, y un total requerido de 5 para poder hacer los protectores de las canaletas, es necesario una inversión de Q1 500,00 adicionales, para el sistema de canalizado en los techos.

En total es necesario una inversión de Q4 650,00 para poder instalar el sistema de canaletas en las naves. Esta inversión no considera el precio de los medios de sujeción porque la empresa cuenta con un equipo de sujeción de canaletas nuevo.

### **5.1.2. Conductores**

Para poder llevar a cabo la construcción del sistema, se puede utilizar las bajadas de agua de 3 pulgadas, como los primeros conductores que conducen el agua fuera de las naves. Al utilizar estos tubos, no es necesaria la compra de nueva tubería de 3 pulgadas. Sin embargo, si es necesario la compra de 15 tubos de 6 pulgadas, para llevar el agua captada hacia los depósitos. Si el precio actual para un tubo de este diámetro, cuyo largo es de 6 metros, es de Q335,00; es necesaria una inversión de Q4 704,00 para la compra de dicha tubería. Además, es necesario una inversión de Q2 179,00 para la comprar de los siguientes accesorios:

- 6 codos a 90 grados de 3 pulgadas, el precio unitario para éstos accesorios es de Q20,00.
- 39 tees de 3 pulgadas, estas tienen un precio de Q29,00.
- 2 codos de 6 pulgadas, cuyo precio es de Q50,00.
- 4 tees de 6 pulgadas, con un precio de Q60,00 cada una.
- 6 reductores de 6 a 3 pulgadas, estas piezas tiene un precio de Q98,00

### **5.1.3. Interceptores de primeras aguas**

Para los interceptores de primeras aguas de cada nave, es necesario un tanque de 180 galones de capacidad. El material del tanque cotizado es de resinas de polietileno, material aprobado por la FDA para el uso como material en contacto con agua potable. El precio cotizado de cada tanque para interceptor es de Q682,50, por lo que, se necesita una inversión de Q1 365,00. También es necesario una inversión de Q388, para la compra de los flotes de los interceptores, este dinero se debe utilizar para la compra de los siguientes accesorios:

- 2 tees de 3 pulgadas
- 2 reductores de 3 a 2 pulgadas
- 4 reductores de 4 pulg. a 2 pulgadas
- 2 esferas plásticas de 3 pulgadas
- 2 reductores de 6 a 3 pulgadas

### **5.1.4. Depósito de seguridad**

En cuanto al depósito de seguridad, se ha cotizado un tanque de volumen similar, a un precio de Q3 318,00. Este depósito tiene una capacidad de 6 000 litros. Por otra parte, se deben considerar los dos filtros artesanales, con un precio de Q2 000,00 en total, valor que incluyen:

- 0,1 metros cúbicos de grava de distintos diámetros (0,5, 1,0, 2,0, 3,0 centímetros)
- 0,150 metros cúbicos de arena
- 2 depósitos metálicos, con niple de entrada y salida

### **5.1.5. Ensamble entre sistemas**

Para realizar el ensamble entre los dos sistemas, es necesaria la compra de una bomba para agua de  $\frac{1}{2}$  caballo de potencia, el precio cotizado para este dispositivo es de Q360,00. También es necesaria la compra de tanque en el que se almacenará el agua captada con la nave 2, cuyo valor estimado es de Q5 439,00.

### **5.1.6. Controlador del nivel de agua**

El costo del circuito electrónico facultado de controlar el nivel de agua dentro del tanque para la nave 2, ha sido cotizado en un valor de Q2 500.00 Este precio incluye los siguientes elementos:

- 1 capacitor electrónico 470 uF/40 V
- 1 transistor ECG 128
- 1 resistencia de 1kilohms
- 1 relevador de 12 VCD
- Los 3 niveles pueden de varillas de acero inoxidable de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, con rosca para tuerca para la conexión en un extremo.

### **5.1.7. Instalación del sistema**

Al tener dentro de la empresa personal encargado de este tipo de actividades, no existe un costo relacionado a la instalación, modificación y mantenimiento del sistema de mantenimiento. Sin embargo, se estima que la instalación de todo el sistema tendría un costo de Q10 000,00; precio que incluye el movimiento de tierras para colocar la tubería que une el agua captada de la nave 2, con el depósito de seguridad. También se incluye en este precio, el costo de adaptación del sistema al cisterna de las instalaciones. Y finalmente, la puesta en marcha del sistema de encendido y apagado automático de la bomba hidráulica.

## **5.2. Análisis de factibilidad**

Esta sección ensambla todos los costos y ahorros que se han descrito anteriormente, con los indicadores financieros que evalúan la viabilidad y factibilidad del proyecto. Se entiende por ahorro, a todos los costos que están siendo erogados en la actualidad, y pueden ser eliminados por medio de la aplicación del sistema.

### **5.2.1. Ahorro con el uso del sistema**

La tabla XV muestra, los ahorros esperados por el sistema para cada mes. La información que se muestra en dicha tabla, son los ahorros o ingresos tangibles , en cuanto a la aplicación del sistema. Sin embargo, existen otros costos, y por lo tanto posibles ahorros, incurridos al momento de parar la producción, por falta del agua en las instalaciones. Éstos costos se le conocen como costos ocultos, y serán desarrollados en esta sección.

El primer costo oculto detectado, es el pago por la mano de obra que se encuentra desocupada. PRICASA S.A., cuenta con sesenta empleados en la planta de producción, de los cuales un tercio de ellos se encuentran ligados al proceso productivo de aquellos productos que se encuentran parados por falta de agua. Éstos trabajadores se encuentra contratados con el salario mínimo de ley, es decir, Q68,00 el día. Cada vez que las instalaciones se quedan sin agua, es necesario esperar durante media jornada laboral para que el cisterna sea llenado por fuentes externas.

Evaluando esta información se ha determinado que, el costo oculto tiene un valor de Q680,00 , por cada vez que el cisterna se queda vacío. En total existe un ahorro de Q6 800,00 en el año, al evitar el pago de mano de obra a personas desocupadas en la fábrica. En la tabla XVI, se muestra el ahorro que se tiene al instalar el sistema, durante cada mes del año.

Tabla XVI. **Ahorro en la mano de obra al aplicar el sistema**

<b>Mes</b>	<b>Ahorro (Q)</b>	<b>Mes</b>	<b>Ahorro (Q)</b>
enero	0,00	julio	2 040,00
febrero	0,00	agosto	1 360,00
marzo	0,00	septiembre	680,00
abril	1 360,00	octubre	0,00
mayo	0,00	noviembre	680,00
junio	0,00	diciembre	680,00

Fuente: elaboración propia.

Los productos elaborados en PRICASA S.A., deben cumplir con ciertos requisitos de calidad para poder ser aceptados en el mercado. Esto implica que, no importando la calidad de los insumos, la empresa se ve obligada a proveer al mercado productos de la misma calidad. Por lo que, en ocasiones se ve en la necesidad de hacer gastos extras para disminuir rasgos indeseables en los insumos comprados.

Este es el caso del agua comprada de fuentes externas, la calidad de esta es menor a la provista por EMPAGUA, por lo tanto, el sistema de filtrado con carbón activado de la empresa, es exigido para purificar el agua provista por las fuentes externas. Este desgaste es el segundo costo oculto incurrido en el uso del agua de camiones cisterna. A dicho costo se le asignará un valor de Q300,00 al año, por el desgaste extra en el sistema de filtrado de la empresa.

Finalmente, el tener la producción detenida implica una posible pérdida del cliente, y una sobrecarga laboral de la planta. Estos dos rubros completan el tercer costo oculto en cada paro de producción. A este costo se le asignará un valor de Q3 000,00 por cada vez que el cisterna se queda sin agua. Teniendo en cuenta que rara vez la empresa falta con el cumplimiento de las entregas de productos, la probabilidad de ocurrencia de este fenómeno es baja, pero se debe tomar en cuenta.

## 5.2.2. Resumen de costos

A manera de tener una mejor perspectiva del flujo de ingresos y egresos del proyecto, se han agrupado todos los ahorros y todos los costos o gastos puestos en una línea de tiempo. Esta agrupación de la información será de gran utilidad al definir los indicadores financieros del proyecto y por lo tanto, la viabilidad o no. Bajo la suposición de que el proyecto arranque en enero, los resultados obtenidos de dicha agrupación, se muestran en la tabla XVII.

Tabla XVII. **Ingresos y egresos del proyecto para un año**

<b>Mes</b>	<b>Egresos (Q)</b>	<b>Ingresos (Q)</b>	<b>Mes</b>	<b>Egresos (Q)</b>	<b>Ingresos (Q)</b>
enero	25 739,00	40,44	julio	0,00	7 013,07
febrero	0,00	54,72	agosto	0,00	4 449,78
marzo	0,00	63,23	septiembre	0,00	3 401,31
abril	0,00	3 614,96	octubre	0,00	991,53
mayo	0,00	1 104,11	noviembre	0,00	1 914,16
junio	0,00	1 977,12	diciembre	0,00	1 618,07

Fuente: elaboración propia.



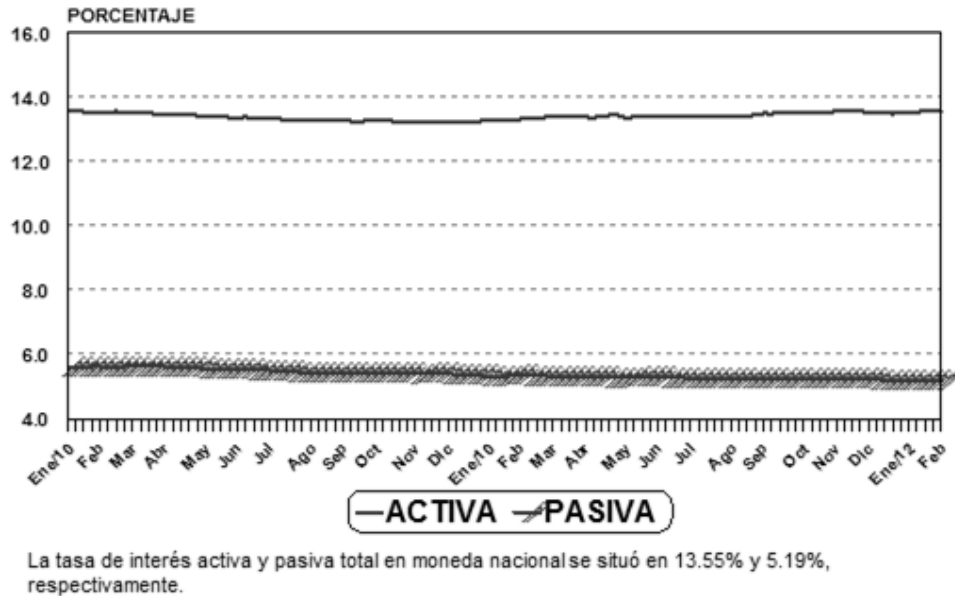
### **5.3. Indicadores económicos**

Al momento de analizar cualquier proyecto, es necesario contar con algunos parámetros económicamente conocidos y aceptados, para determinar si el proyecto sujeto a evaluación es viable o no. Éstos parámetros se les conoce como indicadores económicos. Los más utilizados son el Valor Presente Neto, y la Tasa Interna de Retorno. Aunque éstos son los más utilizados, existen otros también importantes para la toma de decisiones en un proyecto, éstos dos y otros se analizarán en los siguientes reglones.

Un indicador muy importante para la evaluación de todos los proyectos, es la tasa de interés que se utilizará para dicho efecto. En este caso se hará uso de la tasa de interés pasiva del sistema bancario, provista por el Banco de Guatemala. La tasa de interés pasiva es el porcentaje que paga una institución bancaria a quien deposita dinero mediante cualquiera de los métodos posibles, en el caso del sistema bancario nacional esta tasa es de 5,19 por ciento. El comportamiento de esta tasa de interés se muestra en la figura 21.

Nótese que la tasa de interés provista por el Banco de Guatemala, es un parámetro estipulado para un período de un año, por lo que para el análisis de este proyecto es necesario trasladar dicha tasa a su equivalente mensual. Este valor se obtiene al dividir la tasa de interés entre el número de meses del año, es decir, que se tiene una tasa de interés pasiva mensual de 0,4325 por ciento.

Figura 21. Tasa de interés activa y pasiva del sistema bancario nacional



Fuente: Banco de Guatemala.

Para poder evaluar el proyecto, a este se le dará una vida total de 5 años, cuyo flujo de efectivo previsto es el siguiente:

Tabla XVIII. Flujo de caja para la propuesta

Año	Ingresos (Q)	Egresos (Q)	Año	Ingresos (Q)	Egresos (Q)
0	0,00	25 739,00	3	26 242,50	0,00
1	26 242,50	0,00	4	26 242,50	0,00
2	26 242,50	0,00	5	26 242,50	0,00

Fuente: elaboración propia.

### 5.3.1. Valor Presente Neto

Es el método más conocido en cuanto a la evaluación de proyectos. Permite conocer si los beneficios obtenidos por el proyecto, son capaces de cubrir la inversión inicial y generar ganancias para el interesado. Si este parámetro presenta un valor positivo, significa que el proyecto para el período evaluado, presentará un beneficio para la empresa, del monto que este parámetro indique. En caso de que fuese negativo, significa que la empresa tendrá pérdidas del monto indicado por el parámetro. En el caso de que fuese cero, la empresa no incurrirá en ganancias, ni en pérdidas. La ecuación utilizada para determinar el Valor Presente Neto (VPN) es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

[Ecuación 14]

Donde:

- VAN: valor anual neto acrónimo de valor presente neto (Q)
- Vt: flujos de caja en cada período t (Q)
- t: período evaluado
- k: tasa de interés pasiva (%)
- lo: inversión inicial (Q)

En caso la empresa desee deshacerse del sistema, existe un valor de salvamento para el proyecto. Este valor será la suma de dinero que se podría rescatar de lo vendido perteneciente al sistema. El valor de rescate del proyecto es el 40 por ciento del valor de compra de la bomba de agua, los dos depósitos, los tanques de los interceptores de primeras aguas, y el controlador de nivel de agua. Estos dispositivos en total dan al proyecto un valor de rescate de Q5 048,80.

Si se aplicará el proyecto durante un año, la empresa tendría un beneficio total de Q4458,48 con la utilización y venta del proyecto. En el caso de que la empresa utilice el sistema durante todo el tiempo proyectado, es decir 5 años, este dejaría un Valor Presente Neto de Q92 985,26. Esto indica que el proyecto, visto desde este parámetro es rentable para la empresa.

### **5.3.2. Tasa Interna de Retorno**

La Tasa Interna de Retorno (TIR), es aquella tasa de interés que al aplicarse en un flujo de efectivo, iguala el Valor Presente Neto a cero. Como se sabe, al aumentar la tasa de interés, el Valor Presente Neto disminuye. Por lo tanto, una mayor TIR indica una mayor rentabilidad del proyecto. El resultado obtenido debe ser mayor que la tasa mínima requerida, en este caso, la tasa de interés pasiva provista por el Banco de Guatemala. La expresión matemática utilizada para encontrar la TIR es:

$$: \sum_{i=1}^N VPI_i = \sum_{i=1}^N VPC_i$$

Donde:

VPI: valor presente ingresos (Q)

VPC: valor presente costos (Q)

i: tasa de interés (%)

Para poder encontrar la tasa de interés que represente la TIR del proyecto, es necesario evaluar el flujo de caja para distintos valores arbitrarios de tasas de interés. Este método de prueba y error, permite encontrar la tasa de interés en la que el valor del VPI sea igual al VPC, al encontrar esta tasa de interés, se habrá encontrado la Tasa Interna de Retorno del proyecto.

Se ha obtenido que el proyecto tiene una Tasa Interna de Retorno del 7,65 por ciento. Comparado con el 5,19 por ciento de la tasa de interés pasiva, el sistema diseñado es considerado rentable.

### **5.3.3. Período de Retorno de Inversión**

Este es un indicador muy utilizado en proyectos de corto plazo, ya que indica el tiempo en el cual el inversionista espera recuperar el capital invertido. Desde el momento que el inversionista recupera el capital invertido, hasta el tiempo en el cual el proyecto se da por concluido, todos los ingresos que este presente son beneficios o ganancias para el inversionista. Por lo general, los inversionistas no gustan de proyectos en los cuales necesitan esperar un gran período de tiempo, para comenzar a percibir los beneficios de los proyectos, por lo que es importante mantener el Período de Retorno de la Inversión (PRI), tan bajo como sea posible.

En el caso de este sistema, se espera tener un período de retorno de la inversión de 1 año. Por lo tanto, en los otros 4 años para los cuales el sistema ha sido diseñado, todos los ahorros que el sistema otorga a la empresa serán netamente ganancias de su aplicación.

#### **5.3.4. Costo/ Beneficio**

En caso de que sea rentable el proyecto, el costo beneficio indica cuánto dinero se percibe, por cada unidad monetaria invertida. Para obtener el costo/beneficio de un proyecto, se necesita dividir el valor presente de los ingresos, entre el valor presente de los egresos. En el caso de este proyecto, el costo/beneficio es igual a 4,16. Por lo que se puede señalar que el inversionista percibirá Q4,16 por cada Q1,00 invertido en el proyecto.



## **6. MEJORA CONTINUA**

En caso de que PRICASA S.A. crezca de tal manera, que el área de captación no sea capaz de proveer el volumen necesario por la empresa para asegurar la regularidad en la producción, será necesario aplicar una mejora al sistema, para revertir este suceso. En este capítulo se describirán los medios por los cuales el sistema puede aumentar su volumen de captación, recordando que los techos de las naves ya han sido utilizados en el modelo original.

Durante los capítulos anteriores se ha diseñado un sistema de captación del tipo activo, sin embargo, existe un modelo conocido como sistema de captación pasivo, el cual puede ser aplicado en la industria en caso de que los techos de las infraestructuras no sean suficientes para cubrir la demanda. Un sistema de captación pasivo, es aquel que utiliza los pisos, aceras, gradas, captadores agregados y cualquier otro medio, como área de captación de lluvia.

### **6.1. Otros medios de captación**

Aunque con mayor dificultad, y con un menor volumen debido al coeficiente de escorrentía, todas las estructuras hechas con concreto pueden fungir como canales para conducir la lluvia hacia un punto de colección, para su posterior almacenamiento. Los medios más utilizados para la captación pasiva de agua son los pisos de concreto y los captadores agregados hechos por aparte para esta función.



### **6.1.1. Pisos**

Por pisos se debe entender cualquier superficie bajo el nivel de los techos, por medio del cual, bajo ciertas modificaciones, el sistema será capaz de captar y transportar el agua hacia cualquier punto de interés.

PRICASA S.A., cuenta con 1 800 metros cuadrados en la parte posterior de las instalaciones. Una pequeña parte de esta área es utilizada para los depósitos de ciertas materias primas, sin embargo, éstos se encuentran sellados en su parte superior, por lo que el área substraída por el depósito no se pierde ya que el agua desliza por el depósito, y llega al suelo. Para poder utilizar esta área es necesario fundir una superficie de concreto sobre el suelo de este espacio. A dicha fundición es necesario agregar un impermeabilizante, para aumentar el coeficiente de escorrentía en la superficie, y así captar la mayor parte posible con este espacio.

Para poder recolectar el agua captada es necesario colocar cunetas alrededor del área, estas cunetas deben tener un ancho de 20 centímetros . Se debe considerar que la fundición debe tener un declive de por lo menos un 5 por ciento con dirección hacia la carretera principal, este declive permitirá agrupar el agua captada en la cuneta que se encuentra en dicho extremo. La figura 22 da un ejemplo de cómo deben ser las cunetas a instalar en el área . Nótese que a la cuneta es necesario agregar una rejilla para proteger al sistema del ingreso de materiales indeseables.

Figura 22. **Cunetas para la recolección del agua captada con pisos**



Fuente: Design for Water. Heather Kinkade-Levario. p. 54.

A esta área de captación se debe agregar un cisterna subterráneo, este debe ser ubicado en el extremo más cercano del área de captación que encuentre en la parte del terreno de las instalaciones, en donde se encuentren instalados los otros dos depósitos del sistema. El cisterna debe tener una capacidad de 10 000 litros, capaces de almacenar durante un día completo, toda el agua captada por los pisos de las instalaciones.

### **6.1.2. Captadores**

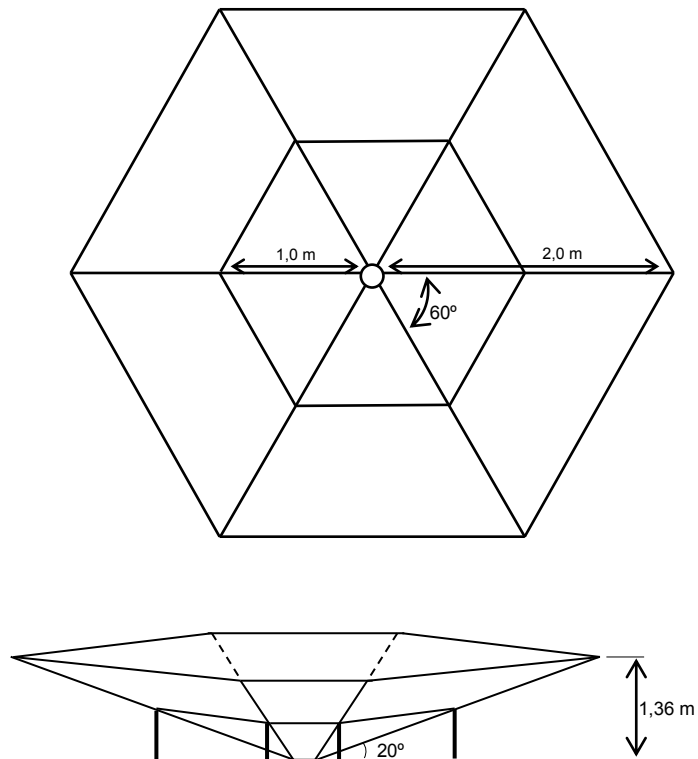
El otro medio para captación de lluvia por medio de una captación pasiva, es el uso de captadores diseñados especialmente para esta función. Éstos captadores suelen tener formas geométricas poligonales, ya que esto facilita su elaboración. Aunque el diseño de estos captadores varían según las necesidades de cada lugares, existen ciertas recomendaciones que se deben seguir para tornar más eficiente cada captador. Las recomendaciones que para el diseño son:

- Las paredes deben tener un ángulo entre 20 y 30 grados por encima de la horizontal.
- La formas geométricas más recomendadas son polígonos de 6 a 12 lados. Siendo los óptimos aquellos con paredes pares.
- Los captadores deben tener una altura mínima de 1,00 metro, y una altura máxima de 1,50 metros.
- El largo máxima de cada pared debe ser de 2,00 metro. Si se realizan de un mayor largo, es necesario agregar refuerzos a la estructura para evitar sobrecargas en los materiales.
- La pared debe tener un tirante transversal que una las paredes en la extremidad de la pared.
- La pared debe tener un refuerzo a la mitad del largo de la extremidad. Por ejemplo, si el largo de la pared es de 2,00 metro, debe tener un refuerzo a los 1,00 metros uniendo.

- El ducto de salida del agua recolectada debe tener un diámetro entre 2 y 3 pulgadas.
- Como se puede observar en la imagen siguiente, el captador debe tener una estructura en su parte inferior, para poder ser adherida al lugar de interés.

La figura 23 muestra el diseño básico de un captador de agua, siguiendo las recomendaciones mencionadas.

Figura 23. **Diseño de captador de agua**



Fuente: elaboración propia.

Estos captadores pueden ser instalados en cualquier área en la cual no se puedan utilizar los pisos, o en caso de que se desee una extensión de los techos de las instalaciones. En el caso de PRICASA S.A., pueden ser utilizados como extensiones de los techos de las naves, en el pasillo que se encuentra entre las dos naves principales de la empresa. También pueden ser utilizados sobre los techos del área de ventas, este espacio no puede ser utilizado de otra manera ya que no cuenta con la inclinación necesaria.

La estructura que da soporte tanto al captador, como las vigas de las paredes, debe ser metálico. El uso de este material asegura la vida del captador, dándole el soporte necesario a la intemperie. En el caso de las paredes del captador pueden ser hechas de lámina plástica, o de lona. La ventaja de utilizar lámina, es que prolonga la vida de las paredes, sin embargo, su instalación es más complicada, caso contrario de la lona, la cual tiene una menor vida útil, pero un costo más bajo al de la lámina.

Estos captadores cuentan con su acople al sistema en la parte inferior, la unión a la tubería que presentan en esta parte, les permite imitar una red de agrupación de caudales, al instalarse más de un captador. Se puede observar que este dispositivo no utiliza canaletas, ya que desde su área de captación, transporta el agua directamente hacia la red de tuberías. La figura 24 muestra unos captadores instalados en un área boscosa.

Figura 24. **Captadores instalados en área boscosa**



Fuente: Design for Water. Heather Kinkade-Levario. p. 1.

## **6.2. Ventajas y desventajas**

Como todo sistema, su aplicación presenta ventajas y desventajas al momento de llevarse a cabo su utilización. En los siguientes reglones se expondrán aquellos factores que se consideran como ventajas al utilizar estos medios como captación pasiva de agua.

- Aumenta el volumen de captación en la empresa.
- Permite aprovechar espacios, que de otra forma no se podrían utilizar.
- Su costo es relativamente bajo.
- Son de fácil instalación al sistema.

Por otra parte, las desventajas en el uso de estos medios son:

- En el caso de los pisos, requiere un sistema de filtrado más minucioso, debido a las condiciones en las cuales se encuentra.
- Los captadores, de no ser instalados correctamente, presentan un peligro por desprendimiento para el personal de la empresa.
- Los captadores, por su geometría, no son capaces de captar grandes volúmenes de agua.
- Los captadores deben ser instalados en lugares específicos de la empresa, de lo contrario, serán un entorpecimiento para la movilización interna de materiales y empleados.

### **6.3. Acople al sistema**

Para poder acoplar estos medios de captación de agua al sistema, es necesario agregar una serie de elementos, para asegurar que el agua captada, respete las características de calidad requeridas por la empresa. En ambos casos, es necesario agregar cuatro elementos para poder hacer el acople de los medios de captación, al sistema diseñado.

El primer elemento necesario, es un sistema de filtración para el agua captada. En el caso de los captadores, bastará con un filtro artesanal, como los que se han diseñado para los techos. Sin embargo, si se utilizará el piso como medio captación, será necesario agregar al sistema de filtración, un filtro de carbón activado, para eliminar la mayor cantidad de suciedad atrapada en el piso.

Luego del sistema de filtrado, es necesario colocar un tanque cisterna con una capacidad de 5 000 litros. Este depósito permitirá almacenar durante un corto período de tiempo, el agua captada por los pisos, o por los captadores, para luego ser transportada al sistema principal de la empresa. Ahora bien, para transportar el agua almacenada por la empresa, es necesario agregar una bomba hidráulica, cuyas características permitan al dispositivo transportar toda el agua almacenada en el tanque cisterna, hacia el depósito de seguridad, colocado en la nave 1.

Finalmente, es necesario colocar un circuito electrónico controlador de nivel de agua, para controlar el apagado y encendido de la bomba hidráulica, para evitar que esta funcione en vacío, y por lo tanto, desperfectos en su funcionamiento. Este controlador, presenta las mismas características que el diseñado para la extensión en la nave 2.





## CONCLUSIONES

1. Tras la aplicación del sistema diseñado, las instalaciones contarán con suficiente recurso hídrico para todas sus funciones, por lo que, la producción se regularizará.
2. El gasto incurrido en la compra de agua a fuentes externas será eliminado, ya que el sistema es capaz de cubrir la demanda que el servicio de EMPAGUA no satisface.
3. Debido a las características del diseño, es necesario utilizar un tanque de almacenamiento con una capacidad volumétrica de 5000 litros, cuyas dimensiones en marcas comerciales oscilan alrededor de 2,20 metros de diámetro y 1,60 metros de alto.
4. Las modificaciones necesarias a la red de alcantarillado pluvial son presentadas en el diseño, bajo el concepto de red de agrupación de caudales. Y muestran como, bajo una configuración especial, una red de tuberías son capaces de conducir diversos caudales, a un solo punto en común.
5. Al utilizar el sistema, como medio alternativo de abastecimiento, se disminuye la dependencia que existe de EMPAGUA, y por lo tanto, la vulnerabilidad de quedarse sin agua en las instalaciones, por problemas en el servicio, además el sistema sería capaz de suplir alrededor del 64 por ciento de la demanda total.

6. El uso del sistema como medio secundario de abastecimiento, presentará un ahorro del 36 por ciento del costo anual incurrido al pago a EMPAGUA por su servicio. El cual consolida al proyecto como una opción viable y factible.

## RECOMENDACIONES

1. Estudiar los procesos productivos y los métodos de fabricación empleados actualmente por la empresa, para aumentar la eficiencia con que se utiliza el recurso hídrico, y de ese modo obtener un decremento en el consumo de la empresa.
2. En caso se necesiten utilizar otros medios de captación separadamente de los techos de las instalaciones, es necesario mejorar los medios de filtrado para la lluvia precipitada, con el fin de que la calidad del recurso captado. Considérese, que cualquier incremento en el filtrado, incrementará el costo de operación y mantenimiento del sistema como tal.
3. Es necesario montar un programa de mantenimiento para el sistema de filtrado actual de la empresa. El programa asegurará la calidad del recurso, tanto aquella que es provista por EMPAGUA, como aquella que es provista por el sistema, y por lo tanto, la calidad misma de los productos que utilicen dicho insumo.
4. Respetar los períodos de limpieza y mantenimiento en los techos, ya que es el único punto en el sistema en que cual el elemento captado, se encuentra en contacto directo con aquellos materiales que pueden contaminarlo, por lo tanto, una buena limpieza de los techos, asegura que el recurso se encuentre lo más limpio posible.



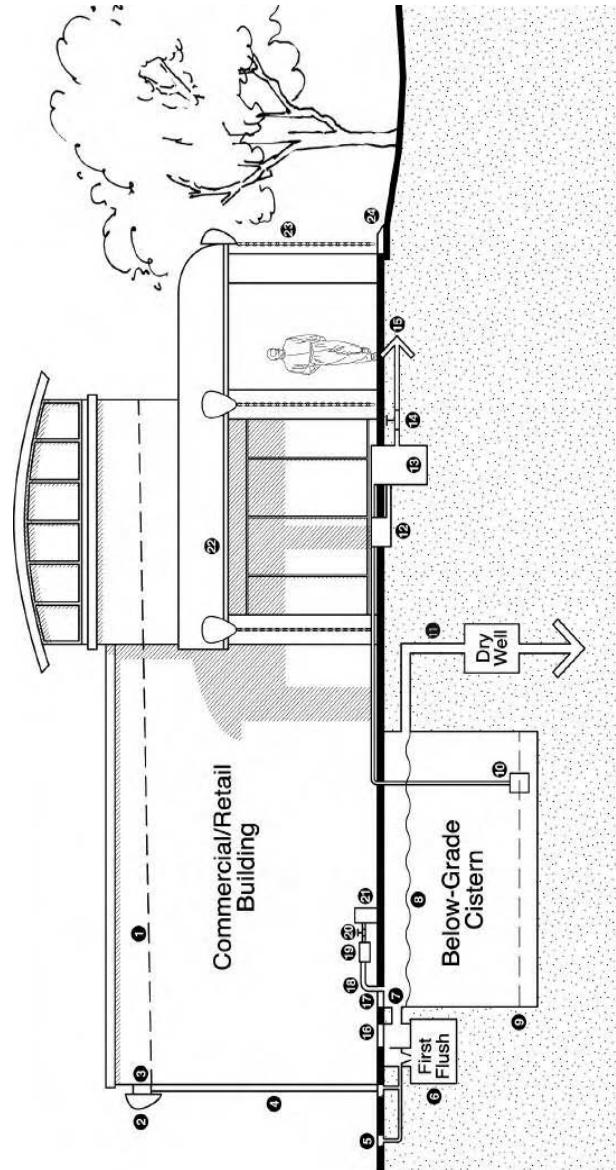
## BIBLIOGRAFÍA

1. ANAYA, Manuel. *Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y El Caribe*. Salazar, Juan José (colaborador); Tunarosa, Víctor (colaborador); Trejo, Jaime (colaborador). México: Agencia de Cooperación Técnica IICA-México, 1998. 131 p.
2. BANKS, Suzy; HEINICHEN, Richard. *Rainwater Collection for the mechanically challenged*. 2a. ed. Estados Unidos: Tank Town Pub, 2004. 108 p. ISBN 978-0-96641-706-7.
3. BRIDGEWATER, Allan; BRIDGEWATER, Gill. *Energías alternativas Handbook*. España: Paraninfo, 2009. 198 p. ISBN 978-8-42833-185-2.
4. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA, E HIDROLOGÍA. *Mapas: Acumulados de Lluvia*. <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/acumulados.htm> [Consulta: 7 de noviembre de 2011].
5. \_\_\_\_\_. *Registros históricos datos mensuales*. [www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/GUATEMALA/Insivumeh/Lluvia\\_Insivumeh.htm](http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/GUATEMALA/Insivumeh/Lluvia_Insivumeh.htm) [Consulta: 15 de septiembre de 2011].

6. KINKADE-LEVARIO, Heather. *Design for water rainwater harvesting, stormwater catchment, and alternate water reuse*. Canadá: New Society, 2007. 237 p. ISBN: 978-0-86571-580-6.
7. MOTT, Robert. L. *Mecánica de fluidos*. 6a ed. México: Pearson Prentice Hall, 2006. 626 p. ISBN 970-26- 0805-8.
8. REIJ, Chris; MULDER, Paul; BEGEMANN, Louis; *Water harvesting for plant production: case studies and conclusions for sub-Saharan Africa*. Estados Unidos: World Bank, 1992. 147 p. ISBN 978-0-82131-935-2.
9. UNIDAD DE APOYO TÉCNICO EN SANEAMIENTO BÁSICO RURAL. *Guía de Diseño para Captación del Agua de Lluvia*. Perú: UATSBAR 2001. 17 p.
10. WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF HEALTH. *Water system design manual*. 3a. ed. Estados Unidos: WSDH, 2009. 302 p.

## ANEXOS

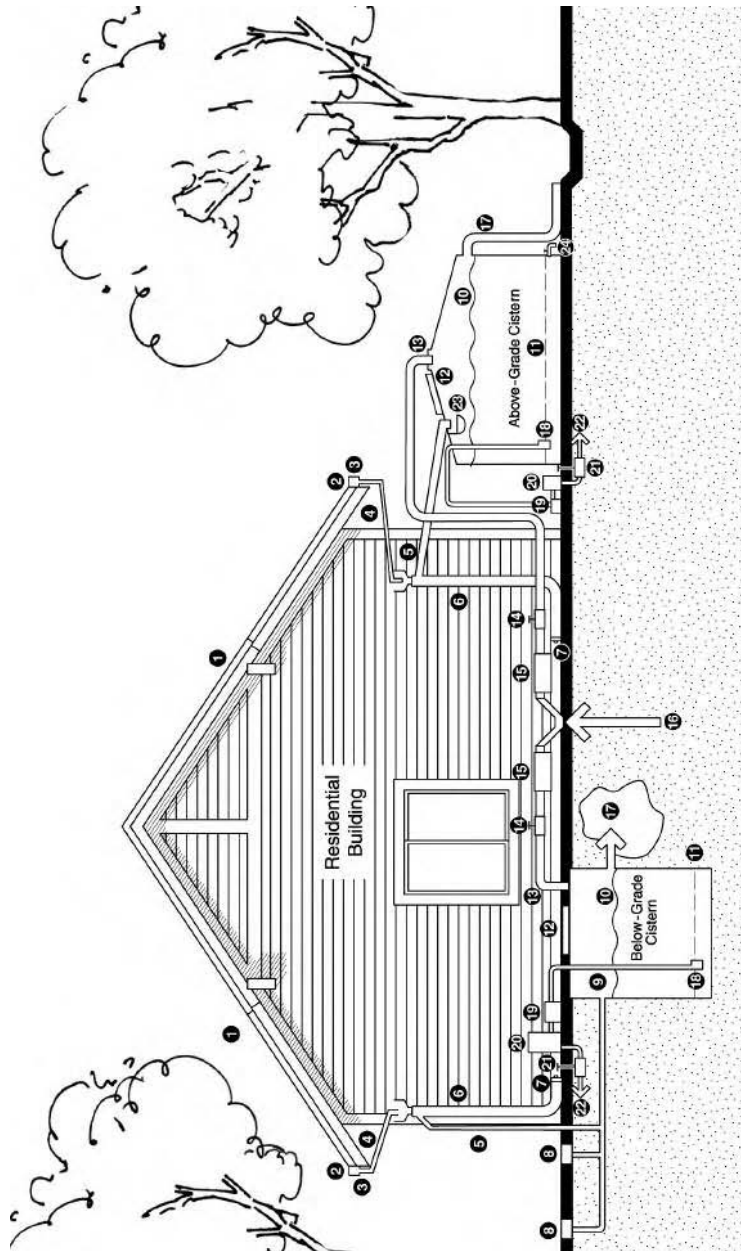
Sistema de captación y almacenaje para uso comercial



Fuente: Design for Water. Heather Kinkade-Levario. p. 16.

Sistema de captación y almacenaje para uso residencial





Fuente: Design for Water. Heather Kinkade-Levario. p. 16.