



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

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECAUDACIÓN DE AGUA PLUVIAL CON APERTURA Y BLOQUEO MECÁNICO DE CAUDAL PARA SERVICIOS GENERALES EN EL CENTRO EDUCATIVO SOLALTO UBICADO EN EL MUNICIPIO DE FRAIJANES, GUATEMALA

José David Meléndez Martínez

Asesorada por el Ing. Oscar Ernesto Jurado Godoy

Guatemala, marzo de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECAUDACIÓN DE AGUA PLUVIAL CON APERTURA Y BLOQUEO MECÁNICO DE CAUDAL PARA SERVICIOS GENERALES EN EL CENTRO EDUCATIVO SOLALTO UBICADO EN EL MUNICIPIO DE FRAIJANES, GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSÉ DAVID MELÉNDEZ MARTÍNEZ

ASESORADO POR EL ING. OSCAR ERNESTO JURADO GODOY

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MARZO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

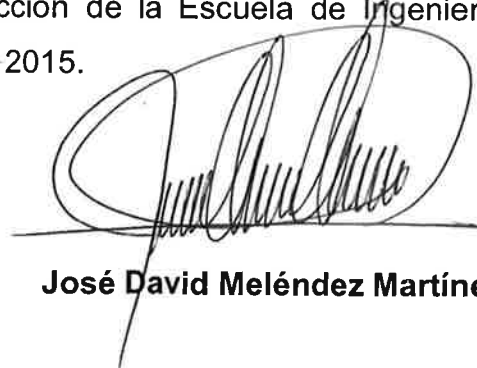
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Juan José Peralta Dardón
EXAMINADOR	Ing. Marco Vinicio Monzón Arriola
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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 UN SISTEMA DE RECAUDACIÓN DE AGUA PLUVIAL CON APERTURA Y BLOQUEO MECÁNICO DE CAUDAL PARA SERVICIOS GENERALES EN EL CENTRO EDUCATIVO SOLALTO UBICADO EN EL MUNICIPIO DE FRAIJANES, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 31 de julio de 2015.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'J' followed by several loops and a long horizontal stroke at the bottom.

José David Meléndez Martínez

Guatemala febrero de 2018

Ingeniero

José Francisco Gómez Rivera

Director Escuela Mecánica Industrial


Su Oficina

Estimado Ingeniero:

Respetuosamente me dirijo a usted para indicarle que tuve a la vista la tesis del señor Jose David Melendez Martinez con número de carnet: 2006-14731, que se titula **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECAUDACIÓN DE AGUA PLUVIAL CON APERTURA Y BLOQUEO MECÁNICO DE CAUDAL PARA SERVICIOS GENERALES EN EL CENTRO EDUCATIVO SOLALTO UBICADO EN EL MUNICIPIO DE FRAIJANES, GUATEMALA”** A la cual doy mi aprobación después de haberla revisado y asesorado, para que siga el trámite correspondiente dentro de la Escuela de Mecánica Industrial.

Sin otro particular, me despido de usted,

Atentamente,


OSCAR ERNESTO JURADO GODOY
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
Ing. Oscar Ernesto Jurado Godoy

Colegiado 8604



REF.REV.EMI.132.017

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECAUDACIÓN DE AGUA PLUVIAL CON APERTURA Y BLOQUEO MECÁNICO DE CAUDAL PARA SERVICIOS GENERALES EN EL CENTRO EDUCATIVO SOLALTO UBICADO EN EL MUNICIPIO DE FRAIJANES, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **José David Meléndez Martínez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Danilo González Trejo
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO ACTIVO 6182

Ing. Erwin Danilo González Trejo
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, octubre de 2017.

/mgp



REF.DIR.EMI.030.018

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 UN SISTEMA DE READECUACIÓN DE AGUA PLUVIAL CON APERTURA Y BLOQUEO MECÁNICO DE CAUDAL PARA SERVICIOS GENERALES EN EL CENTRO EDUCATIVO SOLALTO UBICADO EN EL MUNICIPIO DE FRAIJANES, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **José David Meléndez Martínez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Cesar Ernesto Urquiza Rodas
DIRECTOR a.i.
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, febrero de 2018.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 079.2018

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 UN SISTEMA DE RECAUDACIÓN DE AGUA PLUVIAL CON APERTURA Y BLOQUEO MECÁNICO DE CAUDAL PARA SERVICIOS GENERALES EN EL CENTRO EDUCATIVO SOLALTO UBICADO EN EL MUNICIPIO DE FRAIJANES, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **José David Meléndez Martínez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Ángel Roberto Sic García
Decano en Funciones

Guatemala, marzo de 2018

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser la base de mi vida y guiarme hasta alcanzar esta meta tan importante de mi vida.
- Mi esposa** Sonia Karina Alvarado por su amor, apoyo en todo momento para seguir adelante y darme aliento en cada situación difícil.
- Mis padres** Jaime Nery Meléndez y Gladys Martínez (q. e. p. d.) por su apoyo incondicional, por sus sacrificios y su paciencia. Por todo, Dios los bendiga.
- Mis hermanos** Karen Andrea, Luis Armando y Jaime Pablo por brindarme su apoyo y consejos para seguir siempre adelante y alcanzar las metas.
- Mis tíos** Por haberme aconsejado y motivado siempre esforzarme.
- Mis abuelitos** Por su cariño, apoyo y sus consejos. A mis abuelos que ya no están, dedico este triunfo, porque siempre creyeron en mí.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la oportunidad de formarme como profesional, orgulloso de pertenecer a esta casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por darme las herramientas necesarias y enseñanzas para culminar mi carrera.
Escuela de Ingeniería Civil	Por abrir las puertas del conocimiento al área que desarrollaré como profesional.
Ing. Oscar Ernesto Jurado Godoy	Por su apoyo, por brindarme su confianza y la oportunidad de aprender a través de su experiencia.
Mis padrinos	Por su cariño, apoyo y ayuda incondicional hacia mí, toda mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Asociación para el Desarrollo Educativo (A.P.D.E).....	1
1.1.1. Historia y fundación	1
1.1.2. Misión	2
1.1.3. Visión.....	2
1.1.4. Filosofía	3
1.1.5. Valores.....	3
1.1.6. Estructura organizacional.....	5
1.2. Parámetros básicos para el sistema de agua pluvial	6
1.2.1. Descripción del área geográfica	6
1.2.1.1. Ubicación	7
1.2.1.2. Estudio meteorológico.....	7
1.2.2. Análisis de la demanda de agua potable.....	8
1.2.2.1. Demanda actual	9
1.2.3. Sistemas de agua pluvial	9
1.2.3.1. Función básica	10
1.2.3.2. Ventajas generales del sistema de agua pluvial.....	10

	1.2.3.3.	Tipos de recaudación de agua pluvial	10
1.3.		Mantenimiento preventivo	14
	1.3.1.	Puntos críticos de falla	14
		1.3.1.1. Lámina.....	14
		1.3.1.2. Tubería	15
		1.3.1.3. Tanques de almacenamiento.....	15
		1.3.1.4. Bombas	15
1.4.		Costos.....	16
	1.4.1.	Costos directos.....	16
	1.4.2.	Costos indirectos	17
	1.4.3.	Costo primo	17
2.		SITUACIÓN ACTUAL Y ESTUDIO TÉCNICO	19
	2.1.	Infraestructura básica.....	19
		2.1.1. Terreno.....	20
		2.1.2. Edificio.....	20
		2.1.3. Techos	22
	2.2.	Estimación de requerimiento de agua	24
		2.2.1. Cantidad de agua necesaria para servicios generales	24
		2.2.2. Área techada necesaria para cubrir la demanda	25
	2.3.	Especificaciones técnicas de los materiales	25
		2.3.1. Especificaciones técnicas del tanque	26
		2.3.1.1. Localización del tanque	27
		2.3.1.2. Volumen del tanque.....	28
		2.3.1.3. Dimensiones y secciones del tanque ...	29
		2.3.2. Tubería.....	31
		2.3.2.1. Tipos de tuberías	32

2.3.3.	Bomba de agua.....	32
2.3.3.1.	Potencia	33
2.3.3.2.	Dimensiones	33
2.4.	Herramientas y equipo de protección	34
2.4.1.	Herramientas básicas de construcción.....	34
2.4.2.	Equipo de protección personal.....	35
3.	PROPUESTA PARA DISEÑAR EL SISTEMA DE AGUA PLUVIAL.....	37
3.1.	Conexión de tuberías.....	37
3.1.1.	Canales.....	37
3.1.2.	Tanque de almacenamiento.....	39
3.1.3.	Bombas de succión.....	39
3.2.	Diseño del sistema del circuito de almacenamiento.....	42
3.2.1.	Criterios básicos de diseño del tanque primario	42
3.2.1.1.	Dimensiones	42
3.2.1.2.	Material de fabricación	44
3.2.1.3.	Revestimiento	44
3.2.1.4.	Configuración de almacenaje parcial....	44
3.2.2.	Tanque de filtrado	45
3.2.2.1.	Dimensiones	46
3.2.2.2.	Material de fabricación	46
3.2.2.3.	Configuración de almacenaje parcial....	49
3.3.	Caudal de agua	49
3.3.1.	Entrada	49
3.3.1.1.	Apertura y bloqueo mecánica	50
3.3.2.	Salida.....	51
3.3.2.1.	Apertura y bloqueo mecánica	51
3.4.	Bomba	51
3.4.1.	Especificaciones básicas	52

	3.4.1.1.	Potencia para distribución de agua	52
3.4.2.		Conexiones al sistema de servicios generales del edificio	53
3.4.3.		Señal automática.....	54
	3.4.3.1.	Sensor de apertura	55
	3.4.3.2.	Sensor de bloqueo.....	57
3.4.4.		Selección de bomba	58
3.5.		Mantenimiento preventivo	59
3.5.1.		Techos e infraestructura	60
	3.5.1.1.	Actividades y frecuencia de mantenimiento preventivo en techo y canaleta	60
3.5.2.		Tubería del sistema	61
	3.5.2.1.	Actividades y frecuencia del mantenimiento preventivo.....	61
3.5.3.		Tanque de almacenamiento	61
	3.5.3.1.	Clasificación de las partes de los tanques de almacenamiento	62
	3.5.3.2.	Actividades y frecuencia de mantenimiento por realizar	63
3.5.4.		Bomba de agua	64
	3.5.4.1.	Clasificación de las partes de la bomba de almacenamiento.....	65
	3.5.4.2.	Actividades y frecuencia de mantenimiento por realizar	66
4.		IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	69
4.1.		Tanque de almacenamiento	69
	4.1.1.	Instalación del tanque principal.....	70

	4.1.1.1.	Dimensión de soporte estructural	72
	4.1.1.2.	Esfuerzos totales de soporte estructural	73
	4.1.2.	Instalación del tanque secundario	79
	4.1.2.1.	Dimensión de soporte estructural	80
	4.1.2.2.	Esfuerzos totales de soporte estructural	81
4.2.		Automatización de caudal de agua	86
	4.2.1.	Incorporación del sistema de apertura de caudal	87
	4.2.2.	Incorporación del sistema de bloqueo de caudal.....	90
4.3.		Bomba de succión	90
	4.3.1.	Instalación antes de la boquilla de aspiración	92
	4.3.1.1.	Conexión baipás	93
	4.3.1.1.1.	Válvula de compuerta....	93
	4.3.2.	Instalación después de la boquilla de impulsión.....	95
	4.3.2.1.	Conexión baipás	95
	4.3.2.1.1.	Válvula de compuerta....	95
4.4.		Inversión del proyecto.....	96
	4.4.1.	Costo de materiales y equipo	97
	4.4.2.	Costo de las herramientas y equipo de protección personal	98
	4.4.3.	Costo de fabricación	98
	4.4.4.	Costo de mantenimiento	99
5.		EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	101
	5.1.	Generalidades	101
	5.1.1.	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).....	101
	5.1.2.	Tipos de impacto ambiental	102

5.1.3.	Ventajas y desventajas.....	103
5.1.4.	Metodología para la evaluación de impacto ambiental.....	103
5.2.	Verificación de impacto ambiental.....	105
5.2.1.	Matriz Leopold.....	105
5.2.1.1.	Especificaciones.....	106
5.2.2.	Selección de preguntas.....	116
5.2.2.1.	Identificación de los impactos ambientales.....	116
5.2.2.1.1.	Lista de verificación de impactos.....	116
5.2.2.1.2.	Red de interacción de impactos.....	117
5.2.2.2.	Evaluaciones de los impactos ambientales.....	118
5.2.2.2.1.	Calificación de impacto ambiental.....	118
5.2.2.2.2.	Selección de alternativas.....	119
5.2.3.	Realización de matriz.....	119
5.3.	Toma de decisiones.....	122
5.3.1.	Interpretación de resultados obtenidos.....	123
5.3.1.1.	Análisis de puntos críticos.....	124
6.	SEGUIMIENTO O MEJORA.....	125
6.1.	Auditorías de seguimiento.....	125
6.1.1.	Objetivo.....	125
6.1.2.	Metodología por utilizar.....	126
6.1.3.	Hojas de verificación.....	126

6.1.4.	Periodicidad de las auditorías	127
6.2.	Condiciones higiénicas	127
6.2.1.	Limpieza en áreas.....	127
6.2.1.1.	Canaletas	128
6.2.1.2.	Depósitos de agua pluvial	128
6.2.2.	Ductería adecuada de diseño	129
6.2.2.1.	Entrada	129
6.2.2.2.	Salida.....	129
6.3.	Estadísticas	130
6.3.1.	Índices de consumo	130
6.3.1.1.	Agua potable	131
6.3.1.2.	Agua pluvial	131
6.3.2.	Gráficas de consumo	132
6.3.2.1.	Agua potable	132
6.3.2.2.	Agua pluvial	133
6.3.3.	Análisis de consumo	133
6.4.	Resultados.....	134
6.4.1.	Gráfica de costos	134
6.4.1.1.	Agua potable	134
6.4.1.2.	Agua pluvial	135
6.4.2.	Gráfica de comparación	137
6.4.3.	Análisis de costos	138
	CONCLUSIONES	139
	RECOMENDACIONES.....	141
	BIBLIOGRAFÍA.....	143
	APÉNDICES.....	145

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama	5
2.	Precipitación anual en Fraijanes, Guatemala	8
3.	Tipos de recaudación de agua pluvial	13
4.	Ubicación. Mapa satelital, centro escolar Solalto	20
5.	Fotografía edificio actual	21
6.	Plano de área en conjunto centro escolar Solalto.....	21
7.	Vista aérea, centro escolar Solalto.....	23
8.	Vista aérea conjunto, centro escolar Solalto.....	23
9.	Área de captación de agua	25
10.	Localización del tanque de almacenamiento pluvial	27
11.	Tanques instalados sobre el nivel del suelo	30
12.	Tanques instalados debajo del nivel del suelo	31
13.	Equipo de protección personal	35
14.	Altura geométrica de la bomba.....	41
15.	Válvula de compuerta.....	50
16.	Interrupor de encendido automático	50
17.	Manómetro	55
18.	Alarma de nivel de agua.....	56
19.	Válvula solenoide	57
20.	Sensor de bajo nivel.....	58
21.	Tanque de almacenamiento.....	63
22.	Bomba centrífuga.....	65
23.	Tinaco Rotoplas	69

24.	Accesorios tinaco equipado Rotoplas	70
25.	Instalación del tanque principal.....	71
26.	Ubicación del tanque principal	72
27.	Soporte estructural para el tanque de almacenamiento	73
28.	Diseño del tanque de almacenamiento principal.....	75
29.	Cemento UGC	79
30.	Ubicación de tanque secundario.....	80
31.	Soporte estructural para el tanque de almacenamiento	81
32.	Diseño preliminar del tanque de almacenamiento	83
33.	Diagrama de bloques para el sistema de control de nivel y caudal	88
34.	Características técnicas de bombas centrífugas.....	91
35.	Válvula de compuerta	94
36.	Gráfica consumo de agua potable.	132
37.	Gráfica consumo de agua pluvial.....	133
38.	Gráfica costo mensual de agua potable.....	135
39.	Gráfica costo mensual utilizando agua pluvial	136
40.	Gráfica costo mensual comparativo.....	137

TABLAS

I.	Ejemplo de tipos de costos	17
II.	Ejemplo de tipos de costos indirectos.....	17
III.	Valores comunes para el coeficiente de escorrentía.....	29
IV.	Guía de resistencias químicas.....	48
V.	Frecuencia del mantenimiento preventivo a techos y canaletas	67
VI.	Frecuencia del mantenimiento preventivo a tanque de almacenamiento	67
VII.	Frecuencia del mantenimiento preventivo a la bomba de agua	68
VIII.	Valores de densidad y peso específico de algunas sustancias.....	74

IX.	Presión mínima por bloque en kg/cm ²	77
X.	Densidades específicas de casa tipo de bloque.....	77
XI.	Medidas principales de cada tipo de bloque.....	78
XII.	Presión mínima por bloque en kg/cm ²	84
XIII.	Densidades específicas de casa tipo de bloque.....	84
XIV.	Medidas principales de cada tipo de bloque.....	85
XV.	Costo de materiales y equipo.....	97
XVI.	Costo de herramientas y equipo de protección personal.....	98
XVII.	Costos de fabricación.....	99
XVIII.	Costos de mantenimiento.....	99
XIX.	Matriz de Leopold.....	107
XX.	Factores listados en el eje vertical de la matriz de Leopold.....	111
XXI.	Matriz de Leopold (porción de la matriz completa).....	122
XXII.	Consumo de agua potable.....	131
XXIII.	Consumo de agua pluvial.....	131

GLOSARIO

Agua pluvial	Precipitación acuosa en forma de gotas; en especial cuando se produce en forma de gotas muy finas.
Agua potable	Agua que puede ser consumida sin restricción para beber o preparar alimentos.
Almacenamiento	Se denomina al proceso y a la consecuencia de almacenar.
<i>NPSH</i>	Acrónimo de Net Positive Suction Height es la carga de succión neta positiva, medida con relación al plano de referencia.
Bomba hidráulica	Aparato que aprovecha la energía cinética del caudal del agua para mover parte del líquido a un nivel superior.
Captación	Estructura hidráulica destinada a derivar de un curso de agua parte de esta para ser utilizada en un fin específico.
Costos directos	Es todo aquel costo que se puede asociar directamente a la producción de un solo producto, y que, por tanto, solo debe figurar en la contabilidad de costos de ese producto.

Costos indirectos	Es aquel coste que afecta al proceso productivo en general de uno o más productos, por lo que no se puede asignar directamente a un solo producto sin usar algún criterio de asignación.
Demanda	Se define como la total cantidad y calidad de bienes y servicios que pueden ser adquiridos en los diferentes precios del mercado por un consumidor o más (demanda total o de mercado).
Precipitación	En meteorología, la precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia.
Topografía	Es una disciplina que se especializa en la descripción detallada de la superficie de un terreno.
Volumen	Es una magnitud métrica de tipo escalar definida como la extensión en tres dimensiones de una región del espacio. Se utiliza también para indicar la capacidad en litros de un contenedor o tanque.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación se divide en seis capítulos. El primer capítulo aborda los antecedentes generales de la institución y los conceptos básicos que facilitarán la comprensión de un sistema de agua pluvial, así como temas sobre demanda de agua, mantenimiento preventivo y un enfoque inicial a costos.

El capítulo dos expone la situación actual y estudio técnico de la institución. Se describe brevemente la infraestructura básica, así como una estimación de requerimiento de agua para cubrir la demanda y necesidades básicas. También se exponen las especificaciones técnicas de los materiales y su localización para, finalmente, describir el equipo de protección personal que se debe emplear para el trabajo de graduación.

En el tercer capítulo se elabora y presenta la propuesta del diseño del sistema de agua pluvial. Este contempla el tema de tuberías y el sistema del circuito de almacenamiento, tanque de filtrado y un análisis de caudal de agua. Es importante también mencionar las especificaciones de la bomba y su selección, así como el mantenimiento preventivo que debe realizarse en cada uno de los componentes que conforman el sistema.

El cuarto capítulo describe la metodología utilizada para la implementación del sistema de agua pluvial, tal el caso del tanque de almacenamiento, la automatización de caudal de agua y la bomba de succión. Se incluye también la inversión a nivel de costos, como por ejemplo costos de materiales y equipo, herramientas, fabricación y mantenimiento.

En el quinto capítulo se describe el rol del Ministerio de Ambiente que se especializa en materia ambiental y de bienes y servicios naturales, al cual le corresponde proteger los sistemas naturales que desarrollan y dan sustento a la vida en todas sus manifestaciones y expresiones. Se desarrolla una evaluación de impacto ambiental, iniciando con las generalidades, metodología para la evaluación y verificación del impacto ambiental que el sistema de agua propuesto tiene directamente en el área del colegio. Se trabaja mediante la identificación de impactos ambientales para seleccionar la alternativa ideal y finalizar con la interpretación de los resultados obtenidos.

Finalmente en el sexto capítulo, se trabaja el seguimiento mediante auditorías y definición de la metodología que se utilizará para la realización de las mismas. Se desarrollan los puntos de limpieza del sistema, y en la última parte se analizan las estadísticas de índices de consumo y gráficas de costos de cada una de las opciones presentadas en este trabajo.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de recaudación de agua pluvial con apertura y bloqueo mecánica para servicios generales en el centro educativo Solalto ubicado en el municipio de Fraijanes, Guatemala.

Específicos

1. Conocer las condiciones estructurales y meteorológicas necesarias para el diseño de un sistema de recaudación de agua pluvial.
2. Establecer planos y localización apropiada con el propósito de almacenar el agua pluvial.
3. Determinar los componentes y materiales óptimos que conformen, en conjunto, el sistema de recaudación de agua.
4. Utilizar procedimientos de mantenimiento en puntos críticos en el sistema de agua pluvial a fin de mantener en óptimas condiciones el equipo.
5. Establecer el proceso correcto para la implementación del sistema de recaudación de agua hacia el sistema de servicios generales.
6. Determinar los costos de diseño y construcción del sistema de recaudación de agua pluvial.

7. Establecer un control de calidad a través de una matriz de evaluación de impacto ambiental.

INTRODUCCIÓN

La Asociación para el Desarrollo Educativo (A.P.D.E.) es una entidad y un grupo de colegio referente de la educación en Guatemala, en la que pertenece el centro educativo SOLALTO.

Solalto inicia labores desde el año 2000, a partir de ese año el incremento de alumnos y de gastos en el rubro de agua potable ha ido en aumento, por lo que un sistema de recaudación de agua pluvial para servicios generales es tema por trabajar en conjunto con las autoridades A.P.D.E. para beneficiar al colegio en optimizar gastos referentes al consumo de agua en las instalaciones del centro educativo.

El agua es fuente de vida para todo ser humano. Debido a esto la recaudación de agua pluvial sería una técnica para suplir esta necesidad vital. El diseño de recaudación de agua pluvial se llevará a cabo según los estudios realizados en campo a través de la infraestructura ya existente, topografía y precipitación en el centro educativo ubicado en el municipio de Fraijanes, Guatemala.

Es importante proporcionar un mantenimiento preventivo y programado para el correcto funcionamiento de manera que disminuyan las fallas a corto plazo, aumentando la vida útil del sistema por implementar.

El costo total para la implementación del diseño deberá contemplar, los costos directos e indirectos en la fabricación, así como el de operación y mantenimiento, para luego determinar el porcentaje real de ahorro del consumo de agua en el centro educativo.

1. ANTECEDENTES

1.1. Asociación para el Desarrollo Educativo (A.P.D.E)

A.P.D.E es una entidad con más de 40 años de haber sido fundada para mejorar el nivel académico y de formación de los alumnos y padres de familia. Su filosofía se centra en que los padres son los principales educadores.

1.1.1. Historia y fundación

A.P.D.E. surge en Guatemala por un grupo de padres de familia consciente de su derecho y deber irrenunciable sobre la formación de los hijos y determinan que es la inversión más importante de los negocios y el principal proyecto de sus vidas.

El propósito responde a la naturaleza de las cosas: unos padres conscientes de su responsabilidad de los primeros educadores y establecer centros escolares para sus hijos. Un apoyo incondicional para fundir las bases y dar completa identidad a los centros escolares fue la figura de san Josemaría Escrivá de Balaguer.

En aquellos años se construyó el primer centro educativo Llamado El Roble, situado en la zona 10 de la ciudad de Guatemala; posteriormente Campoalegre, luego La Villa y Las Charcas y ya en los últimos del siglo XX: Las Colinas, Entrevalles y Solalto.

El centro educativo Solalto está ubicado en el kilómetro 22,5 carretera a Fraijanes, Guatemala. Forma parte de la Asociación para el Desarrollo Educativo A.P.D.E.. Un colegio que imparte educación bilingüe para niños de primaria, básicos y diversificado.

1.1.2. Misión

El concepto de misión refiere a un motivo o una razón de ser por parte de una organización, una empresa o una institución. Este motivo se enfoca en el presente, es decir, es la actividad que justifica lo que el grupo o el individuo está haciendo en un momento dado.

La misión de una empresa o institución depende de la actividad que la organización realice, así como del entorno en el que se encuentra y de los recursos de los que dispone. Si se trata de una empresa, la misión dependerá del tipo de negocio del que se trate, de las necesidades de la población en ese momento dado y la situación del mercado.

La misión del centro educativo SOLALTO es la siguiente: promover la educación integral de la familia guatemalteca, a través de la efectiva aplicación del mejor proyecto educativo.

1.1.3. Visión

La visión de una empresa o institución se refiere a una imagen que la organización plantea a largo plazo sobre cómo espera que sea su futuro, una expectativa ideal de lo que espera que ocurra.

La visión debe ser realista pero puede ser ambiciosa, su función es guiar y motivar al grupo para continuar con el trabajo. La misma depende de la situación presente, de las posibilidades materiales presentes y futuras tal y como las perciba la organización, de los eventos inesperados que puedan ocurrir y de la propia misión que ya se haya planteado.

La visión del centro educativo SOLALTO es la siguiente: En 2018 A.P.D.E. será el grupo de colegio referente de la educación en Guatemala. Contribuir a fortalecer el valor de la persona, el matrimonio y la familia, formándoles para que lleven a cabo su proyecto familiar.

1.1.4. Filosofía

La filosofía empresarial es el conjunto de ciertos elementos que van a permitir la identificación de la empresa con lo que es y lo que quiere lograr y que, a su vez, permita desarrollar un núcleo de trabajo organizacional que identifica a todas las partes integrantes de la organización.

En el caso del centro educativo SOLALTO, la misma se basa en promover una educación integral que mediante un trabajo que involucre tanto a los alumnos, docentes, administración y padres de familia, pueda cultivar diariamente los valores para cumplir el objetivo de ser un referente para la educación en Guatemala.

1.1.5. Valores

Define el conjunto de principios, creencias, reglas que regulan la gestión de la organización. Constituyen la filosofía institucional y el soporte de la cultura organizacional. El objetivo básico de la definición de valores corporativos es el

tener un marco de referencia que inspire y regule la vida de la organización y, por ende, lo que se está pidiendo a los empleados es la atención al cliente.

El centro educativo SOLALTO a nivel interno maneja los valores como pilares de la política interna que esencialmente rige el día a día de la institución. Es fundamental el cumplimiento y respeto de los mismos ya que sobre ellos se estructura buena parte de la filosofía y del liderazgo propuesto por SOLALTO. A continuación los valores del centro educativo SOLALTO:

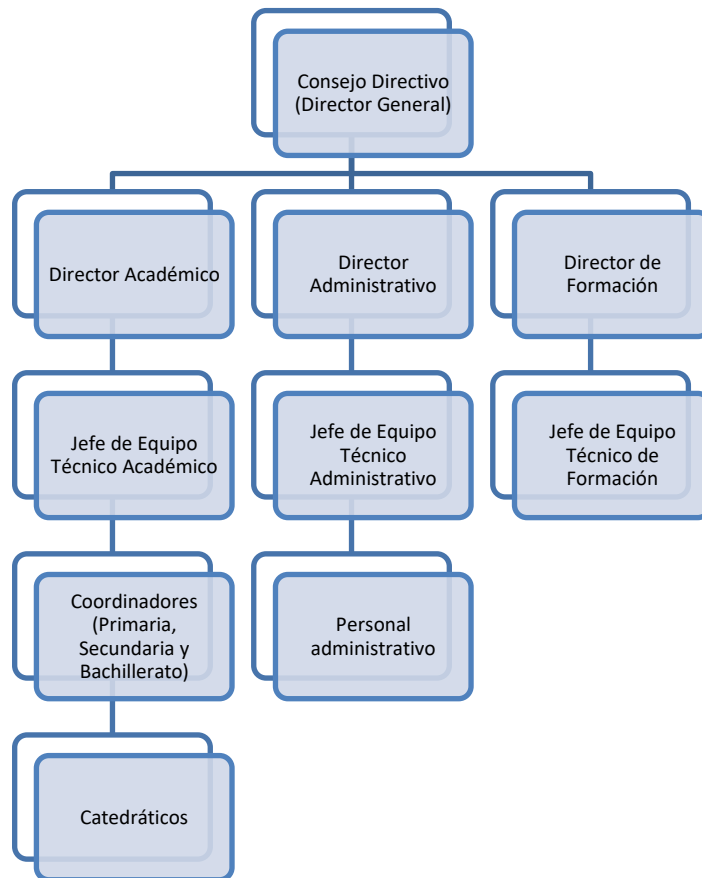
- Trascendencia: conocer, elegir y amar el bien.
- Prudencia: decisión personal de actuar conforme a la verdad y buscar el bien.
- Justicia: dar al otro y en especial a Dios lo que le corresponde.
- Alegría: la entrega a los demás y el olvido de nosotros mismo son la mayor alegría.
- Coherencia: lo que creemos, lo predicamos y lo vivimos.
- Responsabilidad: los efectos de nuestras acciones llevan al bienestar de la sociedad.
- Laboriosidad: búsqueda constante del trabajo bien hecho.
- Templanza: orden y armonía en las acciones.
- Fortaleza: empeño constante por buscar y alcanzar el bien, aunque cueste.
- Magnanimidad: buscar y asumir ideales grandes y honestos.
- Servicio: dar con manos y dar con el alma.
- Solidaridad: determinación firme y perseverante por buscar el bien de todos.
- Lealtad: conformidad de lo que se piensa o dice con lo que se hace, también respecto con las personas e instituciones.
- Sinceridad: amor a la verdad para vivir en la verdad.

- Generosidad: devolver más de lo que hemos recibido.
- Identidad cristiana: el empeño personal por vivir una vida cristiana coherente y por conseguir frutos de vida cristiana en las personas y las familias que participan el proyecto.

1.1.6. Estructura organizacional

El centro educativo Solalto está conformado aproximadamente por 623 alumnos, 48 maestros y 8 personas en administración. Su estructura es:

Figura 1. Organigrama



Fuente: empresa en estudio.

1.2. Parámetros básicos para el sistema de agua pluvial

El desarrollo de la ciencia y de la tecnología para uso y manejo del agua deben orientarse a la búsqueda de un mejor aprovechamiento de este recurso en sus diversas fases y formas dentro del ciclo hidrológico.

El ciclo presenta diferencias cuantitativas y cualitativas en sus diversos componentes y fases, conforme la región o zona y hay que aprender a convivir con sus características naturales. Por esta razón es importante revisarlo e indicar los posibles cambios provocados por el manejo y uso de las tierras.

El agua es esencial para la vida y su escasez afecta negativa y profundamente las posibilidades de desarrollo de una región. Sin agua disponible todo el tiempo, quedan comprometidas las posibilidades de progreso económico y bienestar.

Comprender el ciclo hidrológico y saber cuáles son sus variables manejables es importante para alcanzar el objetivo de mejorar la captación y aprovechamiento del agua de lluvia.

1.2.1. Descripción del área geográfica

El centro escolar posee una topografía quebrada. Se han dispuesto los edificios sobre plataformas tipo escalonadas. El municipio se encuentra situado en la parte sur del departamento de Guatemala, en la región metropolitana y tiene una extensión de 95,48 km², se encuentra ubicado a una altura de 1 630 msnm.

La geografía donde se ubica el centro educativo presenta una inclinación pronunciada hacia abajo, El centro escolar posee una topografía quebrada, Se

han dispuesto los edificios sobre plataformas y el área deportiva se encuentran en la parte más baja.

1.2.1.1. Ubicación

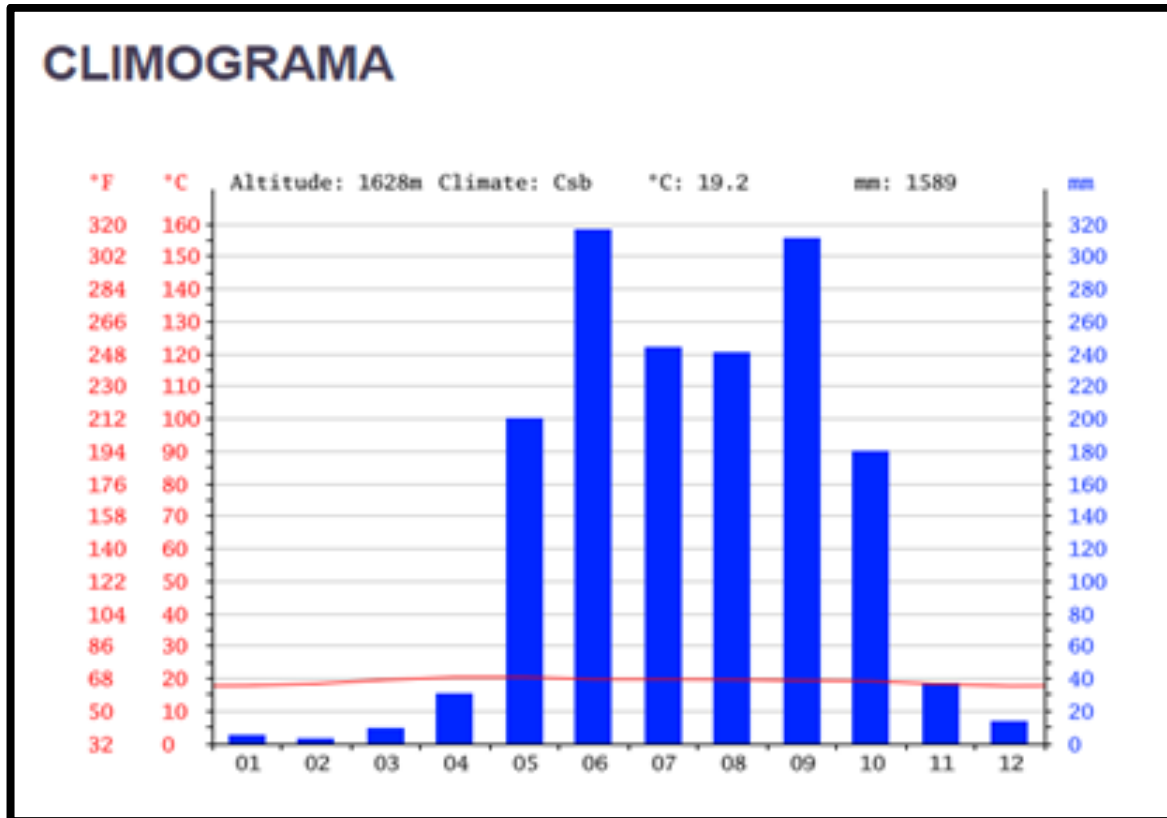
El centro escolar SOLALTO, se localiza en el kilómetro 22,5 carretera a Fraijanes, que es un municipio del departamento de Guatemala, ubicado en el área central de la república de Guatemala y hacia el sur del área capitalina. El distrito municipal es Fraijanes, localizado a 28 km de la ciudad de Guatemala y a una altura de 6 500 pies sobre el nivel del mar. El acceso a la cabecera municipal se encuentra por el km 18,5 de la carretera hacia El Salvador.

Colindando con áreas verdes, se encuentra cercano a distintos proyectos habitacionales. Con servicios públicos existentes, acceso transitable de calle asfaltada, con transporte urbano y alumbrado público sobre la misma calle.

1.2.1.2. Estudio meteorológico

Según antecedentes del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) de Guatemala, para el diseño del sistema de recaudación de agua pluvial se estimarán los datos aproximados en milímetros (mm) del municipio de Fraijanes sobre la precipitación anual reportada en el año 2014.

Figura 2. Precipitación anual en Fraijanes, Guatemala



Fuente: www.es.climate-data.org/location/873460. Consulta: 4 de julio de 2015.

1.2.2. Análisis de la demanda de agua potable

El agua potable es la que puede ser consumida por los seres humanos racionales, sin necesidad de afectar la salud. El agua potable no debe contener sustancias o microorganismos que provoquen enfermedades o perjuicios para la salud.

El agua potable tiene diariamente varios usos, entre ellos se pueden mencionar:

- Limpieza personal
- Consumo humano (bebida, cocina y procesamiento y cocción de alimentos)
- Cultivo de peces, mariscos o cualquier tipo de vida acuática.

1.2.2.1. Demanda actual

Para determinar la demanda de agua potable en el centro educativo, es necesario conocer el precio de cada unidad de volumen, tanto del agua provista por la distribución municipal y como el precio del agua provista por los camiones cisterna. El volumen requerido para un período de tiempo, se obtiene de la siguiente relación:

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

Donde:

- D_i : demanda mensual [m³].
- P_s : pago a municipalidad por servicio [Q].
- C_f : cargo Fijo [Q].
- Alc : porcentaje del cargo por alcantarillado [%].
- P : precio del metro cúbico, según el rango de consumo [Q/m³].

1.2.3. Sistemas de agua pluvial

Es el agua proveniente de las lluvias que escurren superficialmente por un espacio o terreno, se puede almacenar o filtrar en un depósito para luego ser tratada y utilizarla.

A las aguas pluviales se les puede utilizar para regar jardines, dando el tratamiento necesario para cumplir con la higiene requerida. Además, se le puede dar uso doméstico, en industrias y servicios varios.

1.2.3.1. Función básica

El sistema de recaudación de agua pluvial tiene como función el aprovechamiento de la lluvia, representa solo una de las estrategias en el uso racional del agua. Para lograr éxito en cualquier acción o proyecto, es necesario considerar diversos aspectos, como educación, concientización y capacitación de los usuarios o consumidores, que permitan desarrollar en el centro educativo y en la comunidad la cultura del uso eficiente del agua natural.

1.2.3.2. Ventajas generales del sistema de agua pluvial

- Aprovechamiento de la precipitación de agua en el municipio de Fraijanes.
- Disminución de erogaciones monetarias por el consumo de agua potable.
- Disponibilidad independiente de empresas privadas y públicas distribuidoras del servicio.
- Utilizable inmediatamente en caso de incendios.
- Disminuir el consumo de agua potable utilizada.

1.2.3.3. Tipos de recaudación de agua pluvial

En la siguiente figura se muestran los diferentes tipos de recaudación de agua pluvial y sus diferentes usos.

- Captación de techos

La recuperación de agua pluvial consiste en filtrar el agua de lluvia captada en una superficie determinada, generalmente el tejado o azotea, y almacenarla en un depósito. Después el agua tratada se distribuye a través de un circuito hidráulico independiente de la red de agua potable.

- Captación de patios

Se utiliza cuando se posee una extensión de superficie impermeable. La cantidad recolectada dependerá del área que se utiliza para tal propósito. La lluvia cae en la superficie impermeable, la cual es dirigida por canaletas y luego a tuberías hasta un tanque de almacenamiento subterráneo. El agua recolectada se podrá utilizar extrayéndola por medio de una bomba de agua y se utiliza mayormente para abrevaderos o para uso animal.

- Macrocaptación

Consiste en captar la escorrentía superficial generada en áreas más grandes, ubicadas contiguas al área de uso (macrocaptación interna) o apartadas del área de uso (macrocaptación externa), para hacerla infiltrar en el área y ser aprovechadas.

Las técnicas de macrocaptación son más complejas que las de microcaptación. Incorporan como principio hidrológico la utilización de un área productora de escorrentía superficial (pendiente más elevada, suelo delgado, área rocosa, etcétera), sin o con escasa cobertura vegetal, para que genere un volumen considerable de flujo superficial hacia el área de cultivo.

Entre ambas debe haber estructuras de contención, de conducción de agua, como acequias, canales, zanjas, surcos o camellones. El agua captada puede también ser utilizada para abastecer estructuras de almacenamiento, como estanques o embalses temporales, para diferentes finalidades.

También se puede considerar como técnica de macrocaptación la derivación de fuentes de agua externas al área de cultivo, como torrentes, avenidas y cuencas, mediante bocatomas. La mayor parte de las macrocaptaciones se utilizan en regiones semiáridas o áridas, aunque algunas captaciones externas se aplican también en regiones subhúmedas.

- Derivación de manantiales

No todos consideran la captación y derivación de manantiales y cursos de agua establecidos (nacientes, arroyos, embalses) como captación de agua de lluvia propiamente tal. Sin embargo, estas técnicas son útiles para contrarrestar el déficit hídrico en determinadas zonas. Su utilización puede tener diferentes finalidades, desde riego, abrevadero y hasta consumo doméstico (dependiendo de la calidad del agua y de la severidad de la escasez).

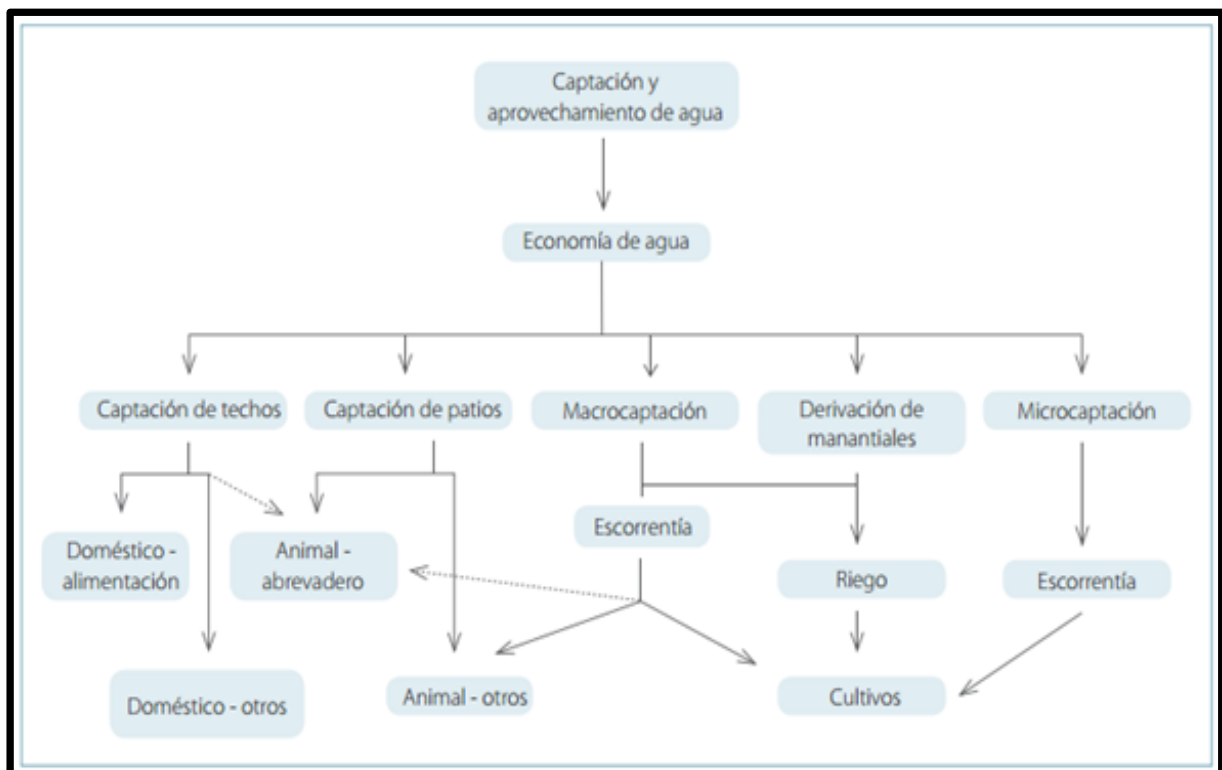
- Microcaptación

Consiste en captar la escorrentía superficial generada dentro del propio terreno de cultivo o área de consumo, en áreas contiguas al área sembrada o plantada o donde se decida utilizar, para hacerla infiltrar y ser aprovechada por los cultivos o servicios que cubrirá con su utilización. Usan las propiedades hidrológicas de un área con pendiente, lisa, poco permeable y sin vegetación, para que genere escorrentía superficial, y las de otra área contigua y aguas abajo,

con surcos, bordos, camellones u hoyos, para captar la escorrentía y abastecer el suelo y los cultivos allí sembrados.

También es denominada como captación *in situ*, por tratarse de un proceso de captación y uso en un lugar cercano o contiguo. Por sus características, se destina al suministro de agua para cultivos. El tipo de recolección que se utilizará en el proyecto es el de captación por techos. Ya que el colegio cuenta con infraestructura de edificios que permiten la fácil recolección y almacenamiento. El uso que se dará al agua recolectada servirá para el uso de servicios generales de mantenimiento de jardines.

Figura 3. Tipos de recaudación de agua pluvial



Fuente: Modalidades de captación de agua según la finalidad de uso (Adaptado de Critchley y Siegert, 1996; Silva et al, 2007; Gnadlinger, 2011).

1.3. Mantenimiento preventivo

Mantenimiento enfocado en la conservación de los equipos en óptimas condiciones antes que fallen. La característica principal es la programación de actividades previas para mitigar el paro de la maquinaria repentinamente. Para este diseño es importante determinar los puntos críticos de falla para eliminar un paro no programado en el sistema de recaudación de agua pluvial.

1.3.1. Puntos críticos de falla

Para realizar el mantenimiento preventivo se determinan los puntos sensibles o fallas que se deterioran con mayor facilidad. Los puntos críticos en el sistema de recaudación de agua pluvial son las caídas de agua, ductería, tanques de almacenamiento y bombas hidráulicas.

1.3.1.1. Lámina

Elemento estructural que geoméricamente es una superficie o plancha curvada delgada de metal que se utiliza como cubierta; normalmente en forma tridimensional.

Es de vital importancia que las láminas estén en óptimas condiciones para cumplir su función de caída de agua y que dirijan en su totalidad el agua pluvial hacia las canaletas. Incluye al menos una inspección anual de tornillos de sujeción, traslape entre láminas y estado superficial. Se deberá cambiar toda aquella lámina que presente fugas y goteo de agua.

1.3.1.2. Tubería

Conducto que permite transportar agua u otros fluidos. Se puede elaborar de diferentes materiales, por ejemplo, PVC, lámina galvanizada y tubería de hierro negro.

La tubería como medio de distribución de agua pluvial para este caso en particular se debe determinar que no haya ninguna fuga de agua debido a la presión de agua. Es importante determinar aquella tubería que este bajo presiones cercanas a su límite, debido que en ese punto se concentran las mayores presiones por área transversal.

El área por lo general de mayor falla son las cercanas a la bomba hidráulica debido a las vibraciones, presiones o por mala operación.

1.3.1.3. Tanques de almacenamiento

Recipientes o estructuras normalmente en forma cilíndrica que se utilizan para guardar o preservar líquidos o fluidos, en este caso agua.

Los tanques de almacenamiento requieren un especial cuidado ya que en ellos se almacenará el agua pluvial y permanecerá en ese espacio hasta su uso. Se deberá limpiar mensualmente para eliminar todo el sedimento y partículas que no pertenecen al agua potable. De igual forma verificar el estado físico del mismo para detectar cualquier fuga presente.

1.3.1.4. Bombas

La bomba es el equipo fundamental para distribuir a lo largo de la red de servicios generales el agua necesaria para su uso. Es importante revisar estopas

y rodamientos. Realizar una buena lubricación para incrementar la vida útil de las piezas que se encuentran bajo movimientos repetitivos circulares.

1.4. Costos

En economía, el coste o costo es el valor monetario de los consumos de factores que supone el ejercicio de una actividad económica destinada a la producción de un bien, servicio o actividad.

Todo proceso de producción de un bien o prestación de un servicio, supone el consumo o desgaste de una serie de factores productivos, el concepto de coste está íntimamente ligado al sacrificio incurrido para producir ese bien o prestar el servicio.

1.4.1. Costos directos

Los costes directos se caracterizan por su cálculo que se puede asignar de forma cierta a un producto o servicio. Por ejemplo en la fabricación de un periódico el coste de papel consumido es un coste directo, porque se puede saber con exactitud la cantidad de papel necesaria para confeccionar un periódico, mientras que el coste relativo a la limpieza de la nave de fabricación es un costo indirecto en la producción de un bien.

Son aquellos que la gerencia es capaz de asociar con los artículos o áreas específicos. Los materiales y la mano de obra directa son los ejemplos más claros.

Tabla I. **Ejemplo de tipos de costos**

EJEMPLO DE COSTOS DIRECTOS
Subcontratistas
Mano de obra contratada
Materiales Directos para desarrollo del proyecto

Fuente: elaboración propia.

1.4.2. Costos indirectos

Son todos aquellos costos que se acumulan de los materiales y la mano de obra indirectos más todos los incurridos en la producción pero que en el momento de obtener el costo del producto terminado no son fácilmente identificables de forma directa con el mismo.

Tabla II. **Ejemplo de tipos de costos indirectos**

EJEMPLO DE COSTOS INDIRECTOS
Depreciaciones
Mantenimiento
Impuestos

Fuente: elaboración propia.

1.4.3. Costo primo

Son todos los materiales directos y la mano de obra directa de la producción. Costos primos = MD + MOD.

2. SITUACIÓN ACTUAL Y ESTUDIO TÉCNICO

2.1. Infraestructura básica

El complejo consta de cinco estructuras, una de ellas destinada a actividades administrativas, el resto dedicados para actividades académicas, un gimnasio, y una garita de seguridad.

Existen áreas para actividades deportivas que constan de dos canchas de basquetbol, una al aire libre, fabricadas de concreto y medidas oficiales de 18mts de ancho por 28mts de largo. Con una cancha de basquetbol techada.

Posee un área de 7 943m² de parqueo y calles para buses, visitas y personal docente. Cuenta con una cancha de futbol de 90 metros de largo por 45 metros de ancho. Cuenta con área para pista de carreras y dos canchas para papi fútbol. El proyecto se basa en lineamientos que permitan a las personas que lo utilicen, gozar de comodidad, recreación y seguridad.

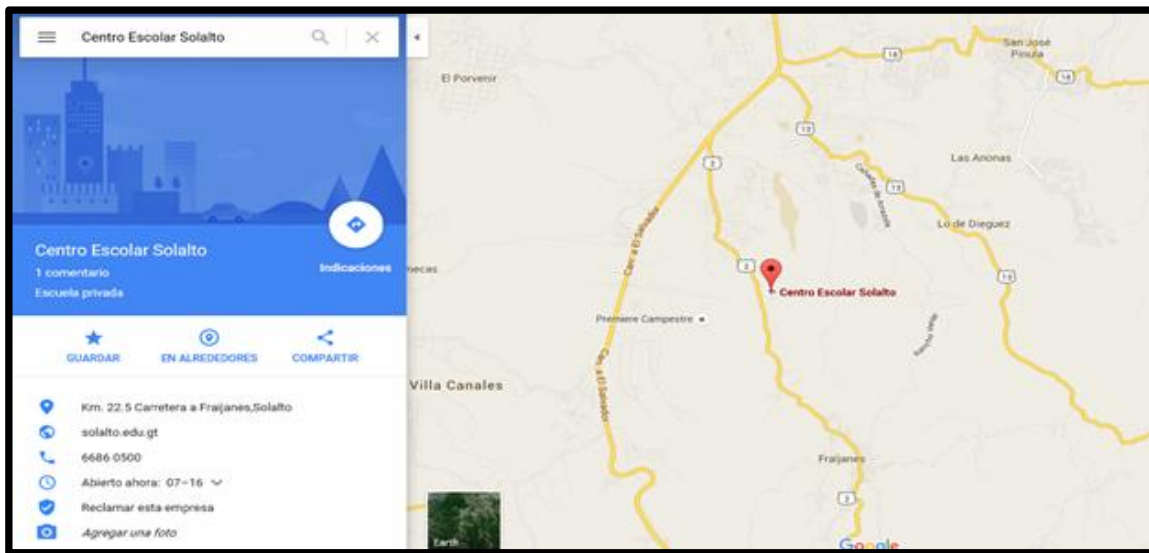
El proyecto se ubicará en el edificio de bachillerato y secundaria ya que la ubicación de este edificio permite la fácil distribución del agua captada hacia las diferentes áreas del colegio.

El tanque de almacenamiento se encuentra construido en la parte posterior del edificio; alejándolo de la vista pública y ubicándolo cerca de las canaletas y tuberías de descenso del agua, así como todo el sistema de tuberías que conectan a los servicios generales del centro educativo.

2.1.1. Terreno

La finca se encuentra ubicada en el kilómetro 22,5 carretera al municipio de Fraijanes, Guatemala:

Figura 4. Ubicación. Mapa satelital, centro escolar Solalto



Fuente: *Google Maps*. Consulta: 10 de enero de 2016.

2.1.2. Edificio

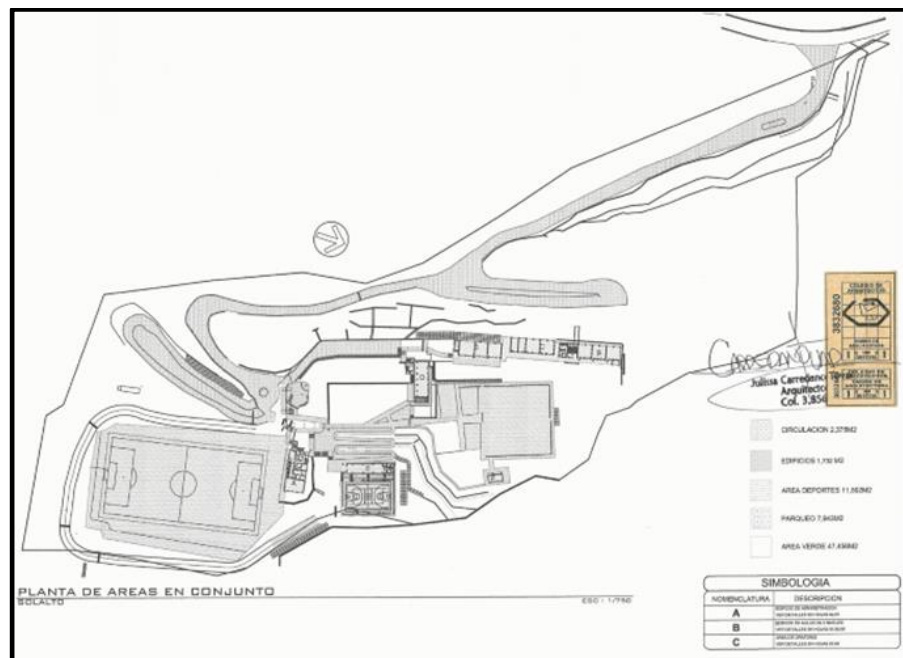
Cada una de las estructuras del complejo está destinada a actividades administrativas, el resto destinado a actividades académicas, un gimnasio, y una garita de seguridad. Cada aula tiene una capacidad de 24 alumnos lo que permite comodidad de espacios. Las estructuras construidas completan un área de 1 732 m². En circulación peatonal y plazas 2 375 m².

Figura 5. Fotografía edificio actual



Fuente: Departamento de diseño y arquitectura A.P.D.E.. Solalto

Figura 6. Plano de área en conjunto centro escolar Solalto



Fuente: Departamento de diseño y arquitectura A.P.D.E.. Solalto

2.1.3. Techos

Las estructuras construidas completan un área de 1 732 m² dividida en cinco edificios: oficinas administrativas, primaria, cafetería, gimnasio deportivo y básicos/diversificado.

- Edificio administrativo: consta de un techo de dos aguas las cuales representan un área aproximada de 157 m².
- Edificio primario: consta de un techo de concreto el cual representa un área aproximada de 325 m².
- Cafetería: consta de un techo de dos aguas de lámina tipo policarbonato el cual representa un área aproximada de 250 m².
- Gimnasio deportivo: consta de un techo de dos aguas y una caída extra de lámina tipo policarbonato con aislamiento térmico el cual representa un área aproximada de 250 m².
- Edificio de básico y diversificados: consta de un techo de dos aguas de lámina tipo policarbonato con aislamiento térmico el cual representa un área aproximada de 590 m².

Figura 7. **Vista aérea, centro escolar Solalto**



Fuente: Google Maps. Consulta: 12 de enero de 2016.

Figura 8. **Vista aérea conjunto, centro escolar Solalto**



Fuente: Google Maps. Consulta: 12 de enero de 2016.

2.2. Estimación de requerimiento de agua

Es conveniente medir la cantidad de agua requerida para el buen funcionamiento de todos los servicios, es decir, los cálculos de demanda y el área necesaria para cubrir la cantidad de agua por utilizar.

2.2.1. Cantidad de agua necesaria para servicios generales

La demanda necesaria para los servicios generales del centro educativo SOLALTO se determina a partir de las necesidades físicas y biológicas de cada estudiante por la cantidad de personas que necesitan este servicio. La ecuación matemática que permite calcular la demanda de agua es la siguiente:

$$D_j = \frac{N_u * Dot * Nd_j}{1000} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

$$D_{anual} = \sum_{j=1}^{12} D_j \quad \text{[Ecuación 3]}$$

$$j = \text{No. de mes, } j = 1, 2, 3 \dots 12$$

Donde:

D_j = demanda de agua en el mes j , m^3 /mes/población

N_u = número de beneficiarios del sistema

Dot = cantidad de agua por persona, en l /persona/ día

Nd_j = número de días del mes j

D_{anual} = demanda de agua para la población

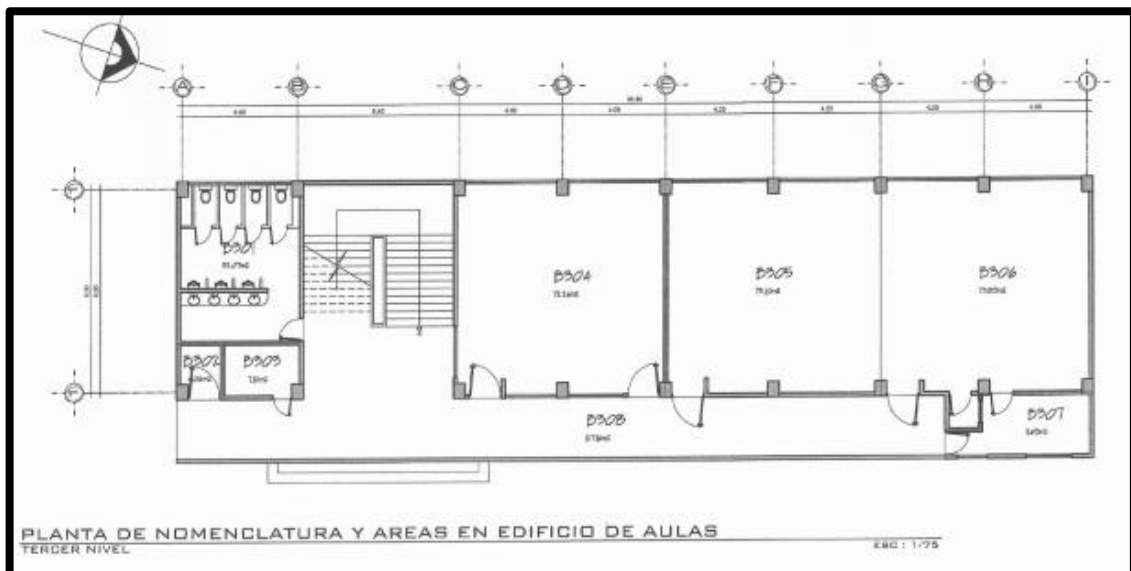
j = número del mes ($j = 1, 2, 3 \dots 12$)

1000 = factor de conversión de litros a m^3

2.2.2. Área techada necesaria para cubrir la demanda

El área techada propuesta es de 590 m² para cubrir la demanda de agua para servicios generales, está distribuida en el edificio de secundaria y bachillerato. No se tomará en cuenta el área cubierta por el toldo a un costado del edificio de bachillerato; y solo se cubrirá las áreas que estén desocupadas para colocar las canaletas.

Figura 9. Área de captación de agua



Fuente: elaboración propia, empleando autocad

2.3. Especificaciones técnicas de los materiales

Para determinar los materiales adecuados para el diseño del sistema de recaudación de agua pluvial es importante especificar algunos de los componentes principales para realizar el diseño:

- Tanque de almacenamiento
- Tuberías de distribución
- Bombas hidráulicas

2.3.1. Especificaciones técnicas del tanque

Los materiales con mayor uso se listan a continuación: plásticos, metálicos, concreto y madera. Los materiales plásticos son el PVC, fibra de vidrio y polietileno. Los materiales metálicos para fabricación de tanques son el acero galvanizado y el inoxidable. Los materiales más comunes para la construcción de tanques con concreto son el ferrocemento y el hormigón. La madera es un material muy utilizado en el área rural para la construcción de tanques, aunque poco a poco se está dejando de utilizar por su poco tiempo de vida útil.

Los tanques ya prefabricados de plástico, específicamente de polietileno, tienen gran demanda debido a su gran flexibilidad en su forma, fácil transporte, fácil instalación, resistentes a impactos y vibraciones, una gran gama de tamaño y color. Este tanque se puede utilizar subterráneo y superficialmente. Al tener todas estas cualidades es una buena opción para almacenamiento de agua.

Se debe tomar en consideración que los materiales anteriormente mencionadas tienen características que los hacen una mejor opción. Por ejemplo, los sistemas de concreto se construyen de manera rápida a un bajo costo y son ideales para soportar mayor volumen de fluido. En el caso de los tanques metálicos son de fácil construcción y se pueden construir de varias formas y tamaños ya que el material permite moldearse y soldarse. Se emplea para tanques de altura ya que presentan una mejor rigidez y mejor ensamblaje que cualquier otro material.

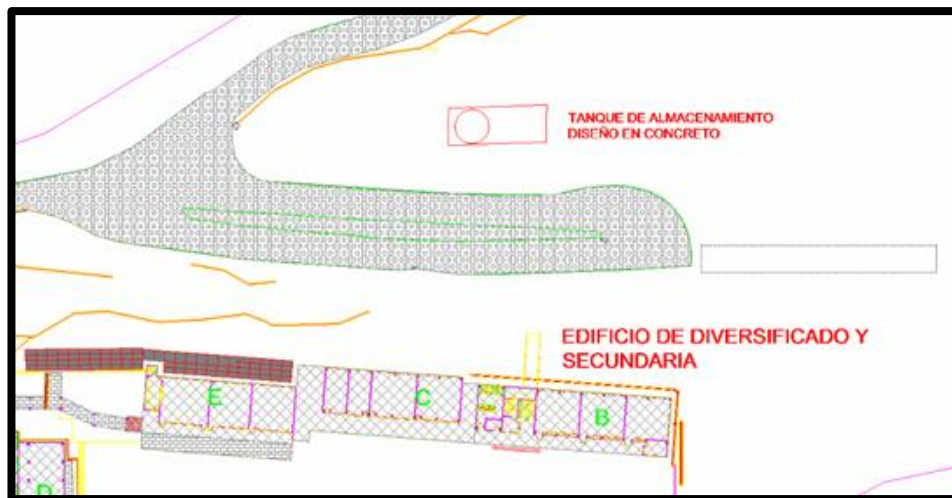
Las partes principales de un tanque para almacenamiento son; base, paredes y cubierta. Sin embargo, existen otros elementos que ayudan al funcionamiento de tanque. Estos son: entrada de agua, la cual se coloca en el borde superior de las paredes del tanque. Salida de agua; comúnmente colocada en la parte posterior del tanque, y acompañada de una válvula para abrir o cerrar el paso de agua.

Escotilla de acceso, está diseñada para 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.

2.3.1.1. Localización del tanque

Debido a la estructura actual diseñada y de la topografía escalonada, la localización del tanque o bien del almacenamiento de agua pluvial, se concentrará específicamente en el edificio de diversificado y secundaria.

Figura 10. Localización del tanque de almacenamiento pluvial



Fuente: elaboración propia, empleando autocad

2.3.1.2. Volumen del tanque

La fórmula para obtener el volumen del tanque de almacenamiento se deduce al realizar la diferencia entre el consumo y la captación de agua pluvial. La fórmula para determinar el consumo se observa en la ecuación 3 y la de captación se muestra a continuación.

$$V = A * M \quad \text{[Ecuación 4]}$$

Donde:

V= volumen de captación de agua pluvial, m³

A= área de captación (lámina).

M= mes con más captación de agua pluvial

A partir de estudios hidrológicos, ha 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 siguiente tabla se muestran los valores más representativos del coeficiente de escorrentía.

Tabla III. **Valores comunes para el coeficiente de escorrentía**

Valores comunes para el coeficiente de escorrentía	
Material	Coeficiente de Escorrentía
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 acanaladas	0,70- 0,90
Orgánicos (Hojas de 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 lluvia PNUMA. p. 51.

2.3.1.3. Dimensiones y secciones del tanque

Para determinar las dimensiones del tanque por utilizar, se debe mencionar que existen dos clases de almacenamiento. Los cuales son:

- Tanques instalados sobre el nivel del suelo: presenta grandes ventajas como la fácil instalación y el bajo costo de hacerlo. Una de las mayores desventajas radica en que si la caída de agua está a la altura del suelo no habrá forma de colocar tanques que filtren el agua al comienzo de cada etapa de precipitación. Además, la vista arquitectónica se verá seriamente afectada. Es posible mitigar este efecto si se coloca en un punto donde no sea observado.

Figura 11. **Tanques instalados sobre el nivel del suelo**



Fuente: <http://www.arquitectiando.com/wp-content/uploads/2008/08/all1.jpg>. Consulta julio de 2015.

- Tanques instalados debajo del nivel del suelo: presentan altos costos de instalación debido a que se realiza un agujero proporcional al volumen del tanque y se debe construir un muro perimetral al mismo para mantenerlo en buen estado, además de aumentar el costo del mantenimiento preventivo al sistema. Sin embargo, entre sus ventajas se encuentra que no interfiere con la estructura arquitectónica de los edificios construidos.

Figura 12. **Tanques instalados debajo del nivel del suelo**



Fuente: <http://redmonarca.ning.com/photo/sistema-de-filtrado-y>. Consulta: noviembre de 2015.

2.3.2. Tubería

Los componentes de conducción llevan el agua a un lugar específico del edificio o hacia un recipiente de almacenamiento. Los canales de desagüe de techos es la forma más común de conducción. La gravedad provee la fuerza necesaria para dirigir el agua por canales hacia los tanques de almacenamiento.

Las tuberías son una estructura generalmente para este tipo de diseños de metal o bien de PVC.

2.3.2.1. Tipos de tuberías

A continuación se presentan los distintos tipos de tuberías que existen en el mercado.

- Tubería de acero
 - Tubería de acero inoxidable: tienen mayor resistencia entre los materiales férricos y su característica principal es que resisten la corrosión y cuentan con una mayor capacidad mecánica. Tienen un mayor costo dentro de este conjunto. El tiempo de vida útil es de 75 años, aproximadamente.
 - Tubería de acero galvanizado: son las más utilizados, su nomenclatura se basa en la dimensión interior en pulgadas. El tiempo de vida útil es de 60 años, aproximadamente.
- Tuberías de PVC: son muy resistentes a productos corrosivos, disfrutan de un índice de dilatación térmica razonable y los tramos de tubería se unen fácilmente con adhesivos especiales. Su principal desventaja son las extremas temperaturas (altas y bajas) El tiempo de vida útil es de 90 años, aproximadamente.

2.3.3. Bomba de agua

Es una máquina que transforma la energía eléctrica en movimiento mecánico para elevar la presión y generar un movimiento ascendente y elevar el

agua a un punto específico. Las bombas pueden ser volumétricas y turbobombas, las cuales constan de un orificio de entrada (aspiración) y otro de salida (impulsión).

2.3.3.1. Potencia

Se determina a través de la longitud vertical a la cual deberá ascender el caudal de agua. Es importante determinar el esfuerzo del paso del agua a través de todos los accesorios de distribución hasta el punto que se requiera. Es importante, entonces, utilizar la siguiente fórmula para determinar la potencia básica de la bomba a través de la altura geométrica del sistema.

$$H_g = H_a + H_i$$

Donde:

- (Ha) es la altura geométrica medida desde el nivel mínimo del agua hasta el eje de la bomba.
- (Hi) es la altura geométrica medida desde el eje de la bomba hasta el nivel máximo de elevación.

2.3.3.2. Dimensiones

Para determinar las dimensiones necesarias de la bomba hidráulica se procede a calcular la potencia necesaria. Cada fabricante dispone de una tabla de selección rápida que permite obtener el modelo de bomba que mejores prestaciones ofrece de entre toda la gama de bombas que presenta. En estas tablas se entra con los valores de caudal y altura manométrica que debe ofrecer la bomba, y que han sido calculados previamente.

2.4. Herramientas y equipo de protección

Es importante determinar las herramientas básicas de construcción de un sistema de recaudación de agua pluvial. Posteriormente, evaluar el equipo de protección para mejorar las condiciones de trabajo.

2.4.1. Herramientas básicas de construcción

Se mencionan algunas herramientas de construcción para el sistema de recaudación de agua pluvial.

- Llave inglesa: es una herramienta manual utilizada para aflojar o ajustar tuercas y tornillos. Tiene abertura ajustable que le permite adaptarse a diferentes medidas. Algunas la llaman “llave francesa”.
- Cortador de tubería: su funcionamiento es muy sencillo y el corte que hace es perfecto, mucho mejor que el de una sierra.
- Cinta de teflón: cinta para unión entre dos tuberías enrollables que permite una mayor sujeción y anula fugas entre uniones.
- Sierra para corte de PVC: están formadas por una hoja de filo dentado y se manejan a mano. Dependiendo de la composición de los tubos o caños por cortar, habrá que utilizar un tipo u otro de hoja.

2.4.2. Equipo de protección personal

El equipo de protección personal (EPP) está diseñado para proteger a los colaboradores en el lugar de trabajo y en las actividades que realizan. Es de vital importancia eliminar las condiciones y actividades inseguras para disminuir lesiones o enfermedades serias.

El EPP incluye una variedad de dispositivos y ropa tales como gafas protectoras, overoles, guantes, chalecos, tapones para oídos, careta, equipo respiratorio, cascos y botas industriales para protección contra riesgos y peligros químicos, radiológicos, físicos, eléctricos y mecánicos.

Figura 13. **Equipo de protección personal**



Fuente: Manual de equipo de protección personal, 3M Guatemala.

3. PROPUESTA PARA DISEÑAR EL SISTEMA DE AGUA PLUVIAL

3.1. Conexión de tuberías

La conexión de tuberías es uno de los elementos importantes para dirigir el caudal del agua pluvial hacia los recipientes para su posterior uso. Se debe de diseñar de manera que sea duradera y de fácil instalación.

Se debe determinar el caudal como la variable determinante para selección del diámetro por utilizar en las tuberías y luego diseñar las dimensiones de canaletas con su pendiente para eliminar las sedimentaciones que pueden provocar corrosión y daño a los materiales.

3.1.1. Canales

El agua pluvial captada en el techo se debe trasladar hacia el sistema de almacenamiento, mediante las canaletas de lámina galvanizada o de PVC. Es necesario que la pendiente de las canaletas no sobrepase el 10 % de pendiente para que el agua pluvial se conduzca a una velocidad moderada y se disminuya la fricción y el daño en la tubería.

Para obtener el caudal de agua pluvial que se conducirá en el canal y tubería, se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$Q_c = \frac{5}{18} (A_{ec} * I_{lluvia}) \quad \text{[Ecuación 5]}$$

Donde: Q_c = caudal de conducción en *litros/s*

$5/18$ = Factor de conversión de m^3/h a *litros/s*

A_{ec} = es el área efectiva de captación del agua de lluvia en m^2 ,

I_{lluvia} = es la intensidad máxima de lluvia en la zona, 0.05
 m/h

El diámetro necesario para la tubería de PVC para soportar el caudal total de agua pluvial durante todo el tiempo de invierno, se determina despejando el área de la ecuación de continuidad.

$$D = 2 * \sqrt{\frac{Q_c}{\pi v}} \quad \text{[Ecuación 6]}$$

Donde:

Q_c = caudal de conducción en *litros/s*

V = velocidad media en m/h .

$\pi = 3.1416$

D = diámetro de tubería en m

Para determinar el área transversal de la canaleta, se utilizará la siguiente ecuación:

$$A_{trans} = \frac{Q_c}{V} \quad \text{[Ecuación 7]}$$

Donde:

Q_c = caudal de conducción en *litros/s*

V = velocidad media en m/h .

A_{trans} = área transversal, m^2

3.1.2. Tanque de almacenamiento

El almacenamiento del agua pluvial se depositará en un recipiente tipo tanque para resguardarla de todo tipo de insectos, hojas, desechos que no forman parte del agua de lluvia.

El tanque será de un material plástico, económico, impermeable el cual proporcionará seguridad para luego poder utilizarla.

Para el volumen del tanque se debe considerar la demanda de agua mensual que necesita el centro educativo para abastecer sus necesidades correspondientes al agua.

Se puede determinar a través de la siguiente ecuación 4:

$$V = D_j * M_2$$

Donde:

V= volumen mínimo del tanque, m³

D_j= demanda mensual, m³ mes⁻¹

M₊₂= 6 meses de sequía + 2

3.1.3. Bombas de succión

La bomba de succión se utiliza para extraer el fluido almacenado en el tanque captado durante cierto tiempo. La bomba debe colocarse lo más cerca posible del fluido, en este caso, el agua pluvial almacenada, de modo que la tubería sea corta y directa. Los componentes de la bomba son: línea de conducción, motobomba y tanque de almacenamiento.

La instalación requiere de un mínimo de uniones y acoples en la tubería de descarga para reducir las pérdidas por fricción. El equipo debe estar protegido contra inundaciones.

Para realizar el cálculo de instalación de bombeo de agua se inicia con el cálculo de la altura manométrica (H) efectuada por el fluido y esta debe ser proporcionada por la bomba, representando la resistencia que debe vencer el fluido desde el lugar de succión hasta la impulsión. Este cálculo también es conocido como la presión que debe dar la bomba.

La altura manométrica (H) total se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$H = H_g + P_c + 10 \times \frac{P_i - P_a}{\gamma} \quad \text{[Ecuación 8]}$$

Donde:

H_g = altura geométrica que debe vencer el fluido, m .

P_c = es la pérdida de carga del fluido a su paso por las tuberías, válvulas, entre otros. m .

$\frac{P_i - P_a}{\gamma}$ = Representa la presión diferencial existente entre las superficies del líquido en la impulsión y la aspiración de la bomba, dividido por su peso específico.

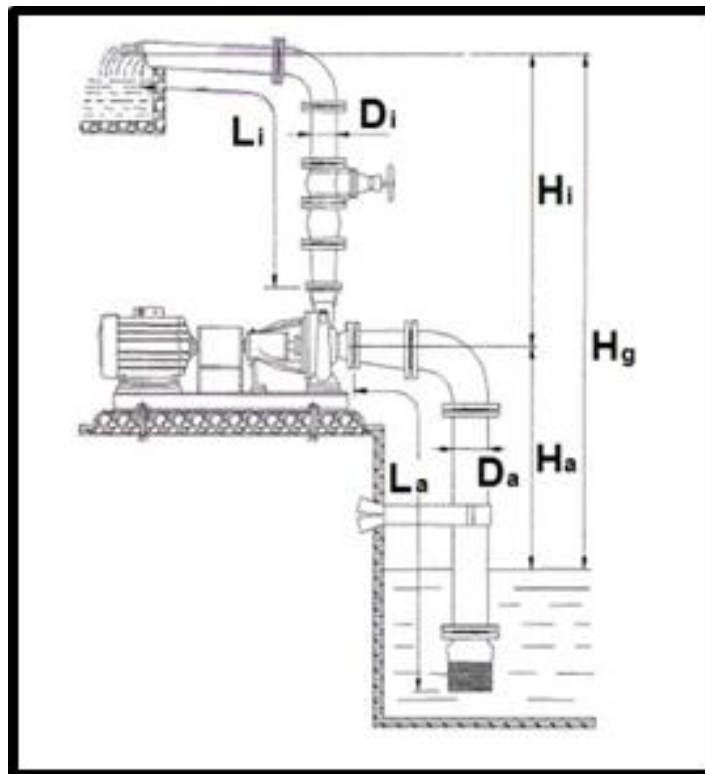
El resultado se expresa en metros. Para los casos comunes donde los lugares desde donde se realice la succión y la impulsión esté abierto a la atmósfera, las presiones de succión e impulsión en la superficie del líquido serán iguales ($P_a = P_i$) y, por lo tanto, este componente resultará cero ($P_a - P_i = 0$) y no deberá ser tomado en cuenta.

La altura geométrica (H_g) será la que resulte de sumar la altura de succión (H_a) y la altura de impulsión (H_i):

$$H_g = H_a + H_i \quad \text{[Ecuación 9]}$$

La altura de succión (H_a) es la altura geométrica medida desde el nivel mínimo del agua hasta el eje de la bomba, mientras que la altura de impulsión (H_i) es la altura geométrica medida desde el eje de la bomba hasta el nivel máximo de elevación.

Figura 14. **Altura geométrica de la bomba**



Fuente: *Tutorial de Ingeniería Mecánica, sección 21.*
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn206.html#seccion21>. Consulta: enero de 2016.

3.2. Diseño del sistema del circuito de almacenamiento

Al determinar las ecuaciones por utilizar se dispone a realizar los cálculos pertinentes al diseño del sistema del circuito de almacenamiento tomando en cuenta algunos criterios como los son: la infraestructura y la topografía del lugar.

3.2.1. Criterios básicos de diseño del tanque primario

El tanque primario es el que recibe directamente las aguas pluviales ya filtradas para almacenarlas. Se debe determinar las dimensiones, localización y material de fabricación para su instalación adecuada que cumpla con la captación total de agua pluvial.

3.2.1.1. Dimensiones

Para realizar una adecuada distribución de dimensiones del sistema de almacenamiento, se tomará en cuenta, las ecuaciones que ayudan a determinar las dimensiones según la captación de agua pluvial.

Con la ecuación 5 se podrá determinar el caudal de conducción para luego calcular las dimensiones adecuadas del tanque de almacenamiento:

$$Q_C = \frac{5}{18} (590 * 0.000181)$$

$$Q_C = 0.03 \text{ litros por segundo la de lluvia}$$

Con la ecuación 2 se determina la demanda de agua mensual:

$$D_j = \frac{415 * 5 * 20}{1000}$$

$$D_j = 41.5 \text{ m}^3 / \text{mes}$$

Donde:

D_j = demanda de agua en el mes j , $\text{m}^3/\text{mes}/\text{población}$.

N_u = número de beneficiarios del sistema = 415

Dot = Cantidad de agua por persona, = 5 en l /persona/ día.

Nd_j = número de días del mes = 20

1000 = factor de conversión de litros a m^3 .

El volumen de captación de agua pluvial máxima durante el año se puede determinar a través de la siguiente ecuación 4:

$$V = 590 * 0.31$$

$$V = 183 \text{ m}^3 / \text{mes captacion máxima}$$

Donde:

V = volumen de captación de agua pluvial, m^3

A = área de captación de agua pluvial (edificio diversificado y secundaria)

M = mes con mayor captación de agua pluvial durante el año

De acuerdo con los resultados matemáticos se determina que el volumen del tanque de almacenamiento de agua pluvial es la diferencia del consumo y la captación de agua pluvial.

Por lo tanto:

$$v = (183 \text{ m}^3/\text{mes captacion máxima}) - (41.5 \text{ m}^3/\text{mes})$$

$$v = 141.5 \text{ m}^3/\text{mes captacion máxima}$$

3.2.1.2. Material de fabricación

Por las condiciones topográficas y por el alto volumen de precipitación en la zona sobre el centro escolar Solalto se construirá un sistema de captación que utilizará un tanque de almacenamiento de pvc colocado a nivel del suelo.

3.2.1.3. Revestimiento

Para realizar el revestimiento del tanque de almacenamiento de agua, se pueden utilizar diversos materiales.

- Interior

Se utiliza para el revestimiento interior un material impermeabilizante para evitar la formación de moho y hongos dentro del tanque.

- Exterior

En este caso el tanque es no requiere un revestimiento exterior.

3.2.1.4. Configuración de almacenaje parcial

El agua de lluvia es esencialmente agua destilada. El agua de destilada es técnicamente potable e incluso algunos la consideran el agua mejor para beber.

No obstante, no se recomienda utilizar el agua directamente captada de la lluvia para los usos en los que se requiere agua potable. Ello se debe a que la atmósfera contiene contaminantes suspendidos que se precipitan con las gotas de lluvia a los que se puede sumar otros (orines y excrementos) que pueden haber en las áreas de captación y que pueden tornar este agua no potable

Recoger el agua de lluvia supone utilizar el espacio de los tejados y cubiertas de un edificio para captar el agua que precipita desde el cielo. Esta agua será canalizada, filtrada y almacenada en un depósito para su posterior uso cuando sea necesario.

3.2.2. Tanque de filtrado

La filtración es el proceso para separar un sólido del líquido en el que está suspendido, al hacerlos pasar, a través de un medio poroso (filtro) y por el cual el líquido puede pasar fácilmente. Cuando el agua de lluvia es captada de los techos, se recomienda instalar un tanque para almacenar temporalmente las primeras lluvias contaminadas por basura, hojas y polvo, para utilizarla en el riego de frutales, hortalizas u otras aplicaciones que no requieran una alta calidad del agua.

El nivel de tratamiento primario propone mediante mecanismos físicos relativamente sencillos retirar materia sólida de gran tamaño, separar la primera lluvia que arrastrará la mayor concentración de contaminantes y sugiere agregar una sustancia conservadora al agua, para mantener la alta calidad que tiene el agua de lluvia antes de contaminarse con la superficie de captación. Con este nivel de tratamiento se plantea que el agua no rebasará los máximos de turbiedad de 5 UTN, de color de 20 unidades de color verdadero y tendrá características organolépticas adecuadas. Es aceptable que esta agua tenga pH ligeramente inferior a 6,5 sobre todo, por el beneficio asociado al ahorro de jabón.

Se recomienda utilizar un desarenador con ingreso superior y pantalla de acrílico que obliga al agua a bajar para continuar su camino sedimentando un porcentaje alto de sólidos.

3.2.2.1. Dimensiones

Este sistema considera un desarenador para retener un alto porcentaje de sólidos sedimentables que superen el separador de sólidos grandes y el de primera lluvia. Para dimensionar este dispositivo se utiliza la intensidad máxima de lluvia para la zona que es de 1,97 mm/min.

Multiplicando este valor de intensidad por el área de captación disponible en m², se obtiene un aproximado de flujo máximo, con un 0,8 de pérdida en techos y 0,7 de pérdida de presión en tubería.

3.2.2.2. Material de fabricación

Para el tanque de almacenamiento primario, se recomienda la utilización de polietileno de alta densidad. Este material es un polímero de la familia de los polímeros olefínicos (como el polipropileno), o de los polietilenos.

Es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno. Se designa como HDPE (por sus siglas en inglés, *High Density Polyethylene*) o PEAD (polietileno de alta densidad).

Características

El polietileno de alta densidad es un polímero que se caracteriza por:

- Excelente resistencia térmica y química.
- Muy buena resistencia al impacto.

- Es sólido e, incoloro, translúcido, casi opaco.
- Muy buena procesabilidad, es decir, se puede procesar por los métodos empleados para los termoplásticos, como inyección y extrusión.
- Es flexible, aún a bajas temperaturas.
- Es tenaz.
- Es más rígido que el polietileno de baja densidad.
- Presenta dificultades para imprimir, pintar o pegar sobre él.
- Su densidad se encuentra en el entorno de 0,940 – 0,970 g/cm³.
- No es atacado por los ácidos, se considera una resistencia máxima de 60°C de trabajo para los líquidos, pues a mayor temperatura la vida útil se reduce.

Para el caso del líquido que se almacenara: agua pluvial, se consideran las recomendaciones vertidas en la *Guía de resistencias químicas*¹ con base en la experiencia y conocimiento que tiene el fabricante de la resina de alta densidad, específicamente la *Equistar Chemical Company* sobre su resistencia misma, de igual forma toma como referencia y base la Norma ASTM empleada para análisis de resistencia química: ASTM D 543 *Standard Practices for Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical*.

¹ Guía de resistencia química para polietileno de alta densidad, Rotoplas 2013.

Tabla IV. **Guía de resistencias químicas**

	Químico o disolvente	Resistencia al ataque químico			Tipo de empaque sugerido		Conexión sugerida		Refuerzo (%)	
		Concentración	20°C	60°C	v=viton	e=EPDM	PP=polipropileno	Otra	Temperatura 20°C	Temperatura 60°C
1	Acetato de amilío	100 %	NS	NS	¾	¾	¾	¾	NS	NS
2	Acetona		S	S	¾	e	PP	¾	0	0
3	Acetato de sodio	Saturado	S	S	¾	e	PP	¾	0	0
4	Acetato de etilo	100 %	NS	NS	¾	¾	¾	¾	NS	NS
5	Acetato de plomo	Saturado	S	S	¾	e	PP	¾	40	40
6	Aceites y ácidos grasos		NS	NS	¾	¾	¾	¾	0	0
7	Aceite de alcanfor		ND	ND	¾	¾	¾	¾	ND	ND
8	Aceite de castor		ND	ND	¾	¾	¾	¾	ND	ND
9	Aceite combustible		NS	NS	¾	¾	¾	¾	NS	NS
10	Aceite de linaza		NS	NS	¾	¾	¾	¾	NS	NS
11	Aceite de semilla de algodón		S	S	v	¾	PP	¾	0	0
12	Aceite lubricante		NS	NS	¾	¾	¾	¾	NS	NS
13	Aceites minerales		S	NS	v	¾	PP	¾	0	NS
14	Aceite para transformador		NS	NS	¾	¾	¾	¾	NS	NS
15	Ácido arsénico	100 %	ND	ND	¾	¾	¾	¾	ND	ND
16	Ácido benzoico	Todas	ND	ND	¾	¾	¾	¾	ND	ND
17	Ácido bórico	Concentrado	S	S	v	e	PP	¾	20	20
18	Ácido brómico	Todas	NS	NS	¾	¾	¾	¾	NS	NS
19	Ácido butírico	Concentrado	ND	ND	¾	¾	¾	¾	ND	ND
20	Ácido carbónico		S	S	¾	¾	¾	¾	0	0
21	Ácido cítrico	Saturada	S	S	v	e	PP	¾	20	20
22	Ácido clorosulfónico	Cualquiera	NS	NS	¾	¾	¾	¾	NS	NS
23	Ácido crómico	Cualquiera	NS	NS	¾	¾	¾	¾	NS	NS
24	Ácido esteárico	100%	S	S	v	e	PP	¾	20	20

Fuente: *Guía de resistencia química para polietileno de alta densidad, Rotoplas 2013.*

3.2.2.3. Configuración de almacenaje parcial

Dentro del sistema propuesto, se deben de eliminar el polvo y las impurezas que porte el agua. Existen múltiples sistemas de filtrado que van desde la simple eliminación de las impurezas más gruesas hasta los sistemas que permiten la potabilización y el pleno uso del agua. También existen filtros que permiten desechar automáticamente los primeros litros de agua recolectados en cada lluvia para permitir un lavado de la superficie colectora que elimine las impurezas que pueda haber.

3.3. Caudal de agua

Es el volumen dividido en un tiempo o sea es la cantidad de agua que es capaz de entregar una bomba en un tiempo determinado. El caudal se mide por lo general en: litros/minutos l/m, metros cúbicos/hora m³/h, litros/segundos l/s. galones por minuto gpm, etcétera

3.3.1. Entrada

En el numeral 3.2.1.1 se define la demanda mensual del centro educativo Solalto y se calcula el caudal de conducción del sistema, se define con la letra Q_c, para el análisis realizado el Q_c que se estará manejando de entrada es de 0,03 litros por segundo.

3.3.1.1. Apertura y bloqueo mecánica

La válvula de globo es adecuada para utilizarse en una amplia variedad de aplicaciones, desde el control de caudal hasta el control abierto-cerrado (On-Off). Ver imagen No. 13

Cuando el tapón de la válvula está en contacto firme con el asiento, la válvula está cerrada. Cuando el tapón de la válvula está alejado del asiento, la válvula está abierta. Por lo tanto, el control de caudal está determinado no por el tamaño de la abertura en el asiento de la válvula, sino más bien por el levantamiento del tapón de la válvula (la distancia desde el tapón de la válvula al asiento). Una característica de este tipo de válvula es que incluso si se utiliza en la posición parcialmente abierta, hay pocas posibilidades de daños al asiento o al tapón por el fluido.

Figura 15. **Válvula de compuerta**



Fuente: *Manual de tipos de válvulas, Rotoplas 2013*

El principal tipo de válvula de globo utilizada para control de caudal es la válvula de aguja. Cabe mencionar que, por el tipo de válvula, el control y monitoreo de caudal es manual, es decir, debe ser realizado por una persona que es la que regula la apertura de la llave dependiendo de la demanda de la jornada o de las actividades programadas.

3.3.2. Salida

El caudal de salida es variable, depende principalmente de la jornada, esto porque en función de la hora, así será la necesidad de cubrir servicios generales (lavamanos, sanitarios, etcétera.) considerando la jornada matutina como la crítica, y puntualmente las horas de entrada y salida del centro educativo Solalto.

De igual manera, cuando se programen actividades especiales de mantenimiento y jardinería, la demanda puede aumentar considerablemente.

3.3.2.1. Apertura y bloqueo mecánica

En el caso de la salida, se utilizarán llaves como la de los grifos, esto para la conexión de mangueras u otros accesorios en caso de tareas de mantenimiento o jardinería, y/o para lavarse las manos. Esta apertura y bloqueo es en función del requerimiento del momento.

3.4. Bomba

Existen diversos tipos de bombas y aplicaciones en los sistemas de agua. Las bombas que se utilizan para transportar agua a través del sistema están dentro de la categoría de 'desplazamiento variable' o "centrifugas". Otras

aplicaciones usan bombas de desplazamiento positivo, como en la dosificación de sustancias químicas, remoción de lodos, muestreo y compresión de aire.

3.4.1. Especificaciones básicas

Cada categoría de bomba tiene sus propias características de operación y una serie de aplicaciones. Existen muchos tipos de bombas en cada categoría. Las bombas de desplazamiento variable se usan para grandes volúmenes donde se requiere una tasa de caudal constante (para transportar agua a través de los sistemas de tratamiento y distribución).

Las bombas centrífugas tienen un impulsor giratorio montado en un eje conectado a la fuente de energía. El impulsor giratorio aumenta la velocidad del agua y la descarga a una tubería diseñada para disminuir el caudal de agua y convertir la velocidad en presión.

Las bombas centrífugas equipadas con un solo impulsor se denominan bombas de una sola etapa, mientras que las que tienen dos o más impulsores se llaman bombas de múltiples etapas. Estas últimas pueden bombear a mayores alturas de descarga, pero no aumentan el caudal.

3.4.1.1. Potencia para distribución de agua

Al hablar de potencia se está hablando de la potencia absorbida que es básicamente la demandada por la bomba al motor, medida comúnmente en hp, kW. Esto es el producto del caudal por la altura. Si la eficiencia de la bomba es alta, menor es la potencia demandada al motor.

La fórmula es:

$$\text{potencia absorbida} = (Q \times H) / (75 \times \%)$$

Donde:

Q: caudal

H: altura

La tasa de descarga de esas bombas varía de acuerdo con la carga (a medida que aumenta la elevación o carga, disminuye la producción de la bomba).

Estas bombas no son autocebantes; por ello, dependen de la carga de succión positiva o de un sello hermético en la entrada de la bomba si el nivel del agua que se va a bombear está por debajo del impulsor de la bomba.

3.4.2. Conexiones al sistema de servicios generales del edificio

Uno de los objetivos de este trabajo de graduación y el diseño del sistema de captación pluvial es el aprovechar y utilizar el agua de lluvia para suplir el agua que actualmente se emplea en servicios generales, servicios sanitarios y el sistema de jardinería y riego del centro educativo Solalto.

Por esta razón, de la salida del tanque de almacenamiento se definirán las conexiones que van al sistema de servicios generales del edificio, esto también para que se pueda hacer la segregación y separación del agua utilizada para el consumo humano (potable) y el agua de lluvia proveniente del sistema de captación.

3.4.3. Señal automática

Básicamente se refiere a un interruptor de presión para el encendido y apagado automático de la bomba de agua. Esencialmente el funcionamiento de este interruptor es que cuando una llave se abre y la presión de agua disminuye, automáticamente se enciende la bomba y cuando cierran una llave y la presión aumente, apaga la bomba de agua. (interruptor automático, ver figura No.14.)

Para corroborar el ajuste de este interruptor es necesario igual instalar un manómetro en la línea, de esta manera cual variación puede ser detectada y cualquier ajuste se puede comprobar, ya que estos interruptores son ajustables a las presiones deseadas. (manómetro, ver figura No. 17.)

Figura 16. **Interruptor de encendido automático**



Fuente: *Manual de Productos Schneider Electric, Square D. Amazon*

Figura 17. **Manómetro**



Fuente: *Manual de Productos Schneider Electric, Square D. Amazon*

3.4.3.1. Sensor de apertura

En el presente trabajo de graduación, el sensor de apertura se refiere al dispositivo que al momento de que el nivel del tanque de almacenamiento está lleno, no permite recibir más agua del sistema. Este sensor permite que el agua sea liberada para evitar el rebalse de las canaletas o del mismo tanque de almacenamiento.

La propuesta es la utilización e implementación de una alarma de nivel de agua (ver imagen No.16), que, al momento de alcanzar el nivel máximo establecido, se activa y energiza una válvula solenoide de agua para que abra y

deje correr el agua hacia un punto identificado y definido de descarga (ver imagen No. 17).

Figura 18. **Alarma de nivel de agua**



Fuente: *Manual de Productos Liberty (Bombas y alarmas). Amazon*

Figura 19. **Válvula solenoide**



Fuente: *Catálogo de válvulas solenoides, U.S. Solid. Amazon*

3.4.3.2. Sensor de bloqueo

La propuesta es que si en dado caso, el tanque de almacenamiento se quedara vacío, se utilizaría un sensor para validar el encendido de la bomba, y aunque la presión del sistema baje y la bomba desee prender, la bomba no encenderá si el tanque está vacío y así evitar que trabaje en vacío la bomba. El sensor debe ser de nivel de agua que corte la señal eléctrica hacia la bomba y la restablezca al llegar al nivel definido.

Figura 20. **Sensor de bajo nivel**



Fuente: *Catálogo de switch de nivel, Little Giant Co. Amazon*

3.4.4. Selección de bomba

Existen diversos tipos de bombas centrífugas con múltiples aplicaciones en los sistemas de agua. Luego de analizar las diferentes opciones disponibles, la decisión es utilizar una bomba de tipo centrífuga de múltiples etapas.

3.5. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo de un sistema de agua potable comprende una cadena de operaciones que se realizan con el objetivo de predecir daños y deterioros en el sistema, conductos, obras hidráulicas y equipos.

Un sistema como el que se propone en este trabajo de graduación está conformado por un conjunto de componentes que requieren periódico mantenimiento para garantizar la calidad y salubridad del agua captada. Un óptimo estado de operación del sistema puede lograrse, pero definitivamente requiere de la realización de actividades de mantenimiento permanentes que eviten el deterioro de cada uno de los componentes que lo conforman.

El mantenimiento preventivo debe incluir actividades como la limpieza general del sistema antes de la época lluviosa y al finalizar la época seca, limpieza del área adyacente al tanque de almacenamiento quitando maleza y materiales inservibles que pueden convertirse en criaderos de vectores, verificación de fugas en el tanque, accesorios y bomba, limpieza interior del tanque. Esto por mencionar algunas de las actividades principales y obligatorias de mantenimiento, que deberán programarse con una frecuencia semanal, mensual y semestral.

El detalle de los componentes críticos del sistema y la propuesta de frecuencia del mantenimiento se describirán con detalle en el numeral 3.5.4.2.

3.5.1. Techos e infraestructura

El área de captación es muy importante dentro del sistema, básicamente es la superficie sobre la cual cae la lluvia. Las áreas que se utilizan para este fin son los techos de casas, escuelas, bodegas, invernaderos y laderas revestidas o tratadas con materiales que la impermeabilizan. La superficie debe ser de tamaño suficiente para cumplir la demanda y tener la pendiente requerida para facilitar el escurrimiento pluvial al sistema de conducción.

3.5.1.1. Actividades y frecuencia de mantenimiento preventivo en techo y canaleta

El centro educativo Solalto posee un techo de tipo dos aguas el cual tiene influencia directa en cómo dar el mantenimiento preventivo, dentro de las actividades para el mantenimiento se pueden listar:

- Se deben revisar y limpiar las canaletas o canales.
- Si tienen bajadas, revisar y limpiar las descargas.
- Se deben revisar los aleros laterales o que existan forros de hojalatería en caso de protección.

En las cubiertas inclinadas fallan también aquellos puntos donde se rompe la continuidad de las canalizaciones, permitiendo que el agua interrumpa su curso para deslizarse bajo la estructura soportante.

Las causas pueden ser:

- La rotura o el desplazamiento de una o varias planchas o tejas.
- Defectuoso traslape de algunas piezas de la cubierta.
- Montaje incorrecto.
- Óxido excesivo.

- Inexistencia de medidas de impermeabilización, o la insuficiencia de la misma.

3.5.2. Tubería del sistema

Es un componente esencial dentro del buen funcionamiento del sistema de captación, es por esta razón que se definen actividades específicas para la revisión y mantenimiento de las tuberías, esto para que funcionen de forma óptima al momento del proceso de recolección de agua.

3.5.2.1. Actividades y frecuencia del mantenimiento preventivo

- A cada 6 meses se debe revisar la tubería del sistema, dar limpieza general eliminando moho, vegetación o cualquier materia indeseada.
- Dar revisión a materiales acumulados en los cuellos de las bajadas de agua.

Luego de la limpieza corroborar que las tuberías queden en perfectas condiciones para dar circulación del agua, o bien realizar cambios totales de algunos componentes de la tubería del sistema, es decir, reemplazar por nuevos.

3.5.3. Tanque de almacenamiento

Es el elemento del sistema destinado a almacenar el volumen de agua de lluvia necesaria para el consumo diario, en especial durante el período de sequía o de alta demanda de agua.

La unidad de almacenamiento debe ser duradera y debe cumplir con algunas de las características siguientes tales como impermeabilidad para evitar pérdida por goteo o transpiración, no mayor de dos metros de altura para evitar sobre presiones, con tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y luz solar.

3.5.3.1. Clasificación de las partes de los tanques de almacenamiento

El tanque de almacenamiento está conformado por (ver figura 21):

- Válvula y flotador
- Electro niveles
- Válvula de pie
- Tubería de succión
- Bomba de agua
- Válvula esférica
- Filtro

Figura 21. Tanque de almacenamiento



Fuente: *Catálogo de Rotoplas 2015.*

3.5.3.2. Actividades y frecuencia de mantenimiento por realizar

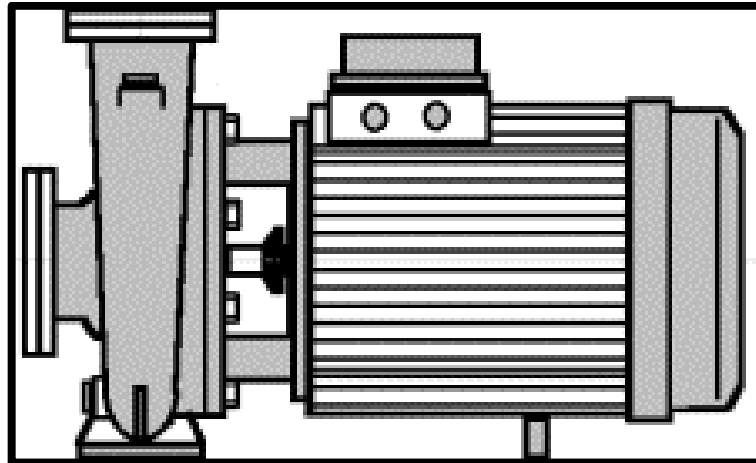
- Colocar un nuevo filtro para sedimentos: como primer paso, se debe cerrar la llave de paso de entrada del agua. Luego se desenrosca la carcasa y se saca el elemento (filtro para sedimentos) y se sustituye por uno nuevo, esto con el fin de purificar el agua o bien captar la mayor cantidad de sedimentos que puedan llegar a afectar la calidad del agua almacenada dentro del tanque.

- Renovar el agua en un 20 % o 30 % cada quince días: se recomienda que cada 15 días se reemplace el 20 % o 30 % del agua de la siguiente manera: Se cierra la llave de paso de entrada de agua al tanque y se saca el porcentaje de agua para reutilizarlo en labores que no sean de consumo humano, como por ejemplo regar las plantas, lavar el carro, regar el jardín, entre otros. Luego se procede a abrir la llave de paso para llenar el tanque nuevamente.
- Lavar el tanque con agua y jabón cada seis meses: se recomienda que un tanque de almacenamiento de agua potable, se le dé un mantenimiento cada 6 meses, el cual consiste en vaciar el agua del tanque, reutilizándola en labores que no sean de consumo humano, como por ejemplo lo puede ser regar las plantas, lavar el carro o regar el jardín.

3.5.4. Bomba de agua

Una bomba centrífuga es una máquina con carcasa tipo voluta, o sea, forma de caracol, con impulsor o rodete de álabes radiales cerrado o abierto, el que recibe rotación del eje horizontal. La aspiración del líquido es en forma axial, o frontal al impulsor. La descarga del líquido es en forma radial o vertical al eje de la bomba.

Figura 22. **Bomba centrífuga**



Fuente: Tutorial de Ingeniería Mecánica, sección 24.
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn206.html#seccion21>. Consulta: enero de 2016.

3.5.4.1. Clasificación de las partes de la bomba de almacenamiento

Las partes constitutivas de una electrobomba centrífuga dependen de su construcción y tipo, por esta razón se mencionan las más fundamentales.

Partes de la bomba

- **Carcasa:** la mayoría de las carcasas son fabricadas en fierro fundido para agua potable, pero tienen limitaciones con líquidos agresivos (químicos, aguas residuales, agua de mar). Otro material usado es el bronce. También se usa el acero inoxidable si el líquido es altamente corrosivo.
- **Rodete o impulsor:** para el bombeo de agua potable en pequeños, medianos y gran caudal, se usan rodetes centrífugos de álabes radiales y semi axiales. Fabricados en fierro, bronce acero inoxidable, plásticos.

- Sello mecánico: es el cierre mecánico más usado, compuesto por carbón y cerámica. Se lubrica y refrigera con el agua bombeada, por lo que se debe evitar el funcionamiento en seco porque se daña irreparablemente.
- Eje impulsor: en pequeñas bombas de un solo bloque (tipo monoblock), el eje del motor eléctrico se extiende hasta la bomba, descansando sobre los rodamientos del motor fabricado en acero inoxidable.

3.5.4.2. Actividades y frecuencia de mantenimiento por realizar

Las actividades que se deben programar y realizar con la bomba de agua, básicamente están definidas en el plan de mantenimiento preventivo que debe realizarse y cumplirse, este considera actividades de tipo eléctrico y mecánico, para garantizar el óptimo y permanente funcionamiento de este componente clave dentro del sistema de distribución propuesto en este trabajo de graduación.

Se muestra en las siguientes tablas las actividades programadas y su frecuencia.

Tabla V. **Frecuencia del mantenimiento preventivo a techos y canaletas**

ACTIVIDAD	TRIMESTRAL	ANUAL
Revisión tornillería	x	
Revisión de infraestructura	x	
Limpieza de canaletas	x	
Sujeción de canaletas	x	
Revisión de grietas en losa	x	
Limpieza de losa		x
impermeabilizar losa		x

Fuente: elaboración propia. Empleando excel

Tabla VI. **Frecuencia del mantenimiento preventivo a tanque de almacenamiento**

ACTIVIDAD	DIARIO	MENSUAL	SEMESTRAL
Revisar las tuberías de entrada y salida del tanque	x		
Revisar alrededor del tanque (Si es expuesto) para revisar grietas	x		
Revisar la altura de agua dentro del tanque (Que sea al menos del 20%)	x		
Renovar el agua en actividades de jardinería para que esta no acumule microorganismos		x	
Clorar el agua para que se conserve en buen estado		x	
Limpieza de las paredes del tanque			x
Limpieza del filtro de sedimentos			x
Limpieza de tapaderas, entradas y salidas de la tubería			x

Fuente: elaboración propia. Empleando excel

Tabla VII. **Frecuencia del mantenimiento preventivo a la bomba de agua**

ACTIVIDAD	DIARIO	MENSUAL	SEMESTRAL
Revisión de temperatura de rodamientos	x		
Revisión de conexión eléctrica y cargas	x		
Revisión de presión de trabajo	x		
Cambiar las estopas en el eje		x	
Revisar retenedores		x	
Cambiar los cojinetes por altas revoluciones			x
Limpieza de tapaderas, entradas y salidas de la tubería			x

Fuente: elaboración propia.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Tanque de almacenamiento

En el numeral 3.2.1.1 se estableció el volumen máximo de captación 141,5m³ mensual, esto es 141 500 litros, esta cantidad dividida 30 días, representa aproximadamente un total de 4 716,66 litros diarios, según la tabla que maneja el proveedor. Los tinacos vienen hasta una capacidad de 2 500 litros, este es el tamaño que se utilizará para esta parte del proyecto. Es importante mencionar que, respecto del valor máximo de captación determinado, esta capacidad se encuentra por debajo del valor indicado. A continuación se presenta el tinaco industrial que será utilizado para la implementación de este trabajo de graduación.

Figura 23. Tinaco Rotoplas

Tinaco Garantía de por vida

Especificaciones Técnicas

- Material fabricado con PELBD (Polietileno lineal de baja densidad) de color beige por fuera y blanco por dentro.
- Capacidades desde 450 L hasta 2 500 L que incluyen Tapa con arillo de 18", Válvula con Flotador de 3/4", Multiconector con Válvula y Filtro con Cartucho.


Cuadro de capacidades
Tinaco Garantía de por vida

Capacidad	Diámetro	Altura	Personas
450 L	0.85 m	0.99 m	2
600 L	0.97 m	1.12 m	3
750 L	1.10 m	1.02 m	4
1 100 L	1.10 m	1.40 m	5
2 500 L	1.55 m	1.60 m	10

Tinaco Garantía de por vida horizontal

Capacidad	Largo	Altura	Ancho	Personas
1 100 L	1.30 m	1.21 m	1.14 m	5
1 100 L*	1.43 m	1.05 m	1.14 m	5

*Reforzado.



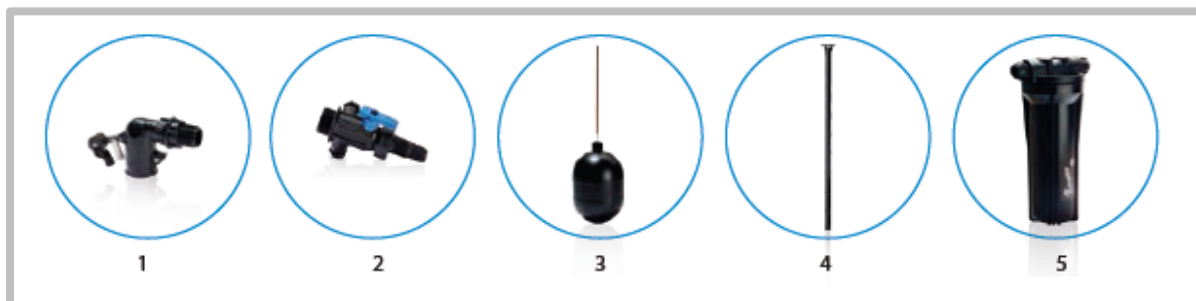
Fuente: Manual mantenimiento e instalación tinacos equipados Rotoplas. 2013

Figura 24. **Accesorios tinaco equipado Rotoplas**

Accesorios que equipan un Tinaco Rotoplas

Toda la línea de accesorios Rotoplas está diseñada para ser instalados de manera sencilla y práctica, además cada accesorio aporta un beneficio extra a cada producto Rotoplas. Están garantizados por 5 años y cuentan con tecnología **EXPEL** impidiendo la reproducción de bacterias.

1. Válvula de Llenado
2. Multiconector con Válvula Esfera y Tuerca Unión
3. Flotador # 5
4. Jarro de Aire
5. Filtro Estándar



Fuente: Manual mantenimiento e instalación tinacos equipados Rotoplas.2013.

4.1.1. **Instalación del tanque principal**

Para garantizar el buen funcionamiento de la instalación, es importante:

- Asegurarse de que no existan goteos ni fugas en las conexiones
- Se recomienda el uso de cinta teflón

Por su ligereza, estos sistemas resultan muy sencillos de transportar y maniobrar, de hecho, una sola persona puede cargarlos.

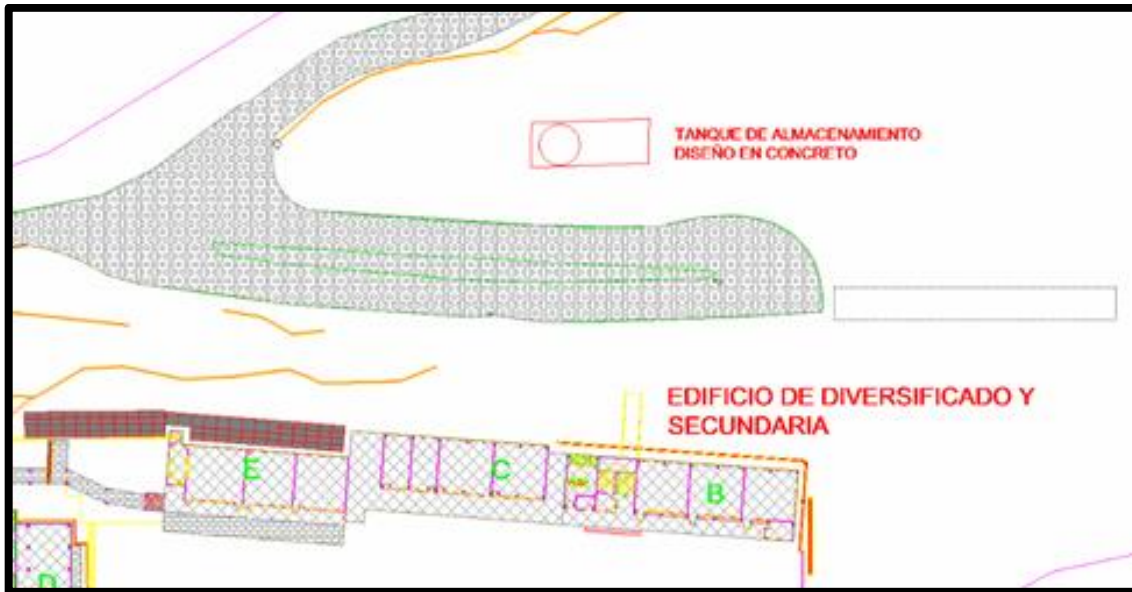
Figura 25. **Instalación del tanque principal**



Fuente: Manual mantenimiento e instalación tinacos equipados Rotoplas. 2013.

En las siguientes figuras se puede observar la ubicación del tanque de almacenamiento.

Figura 26. **Ubicación del tanque principal**

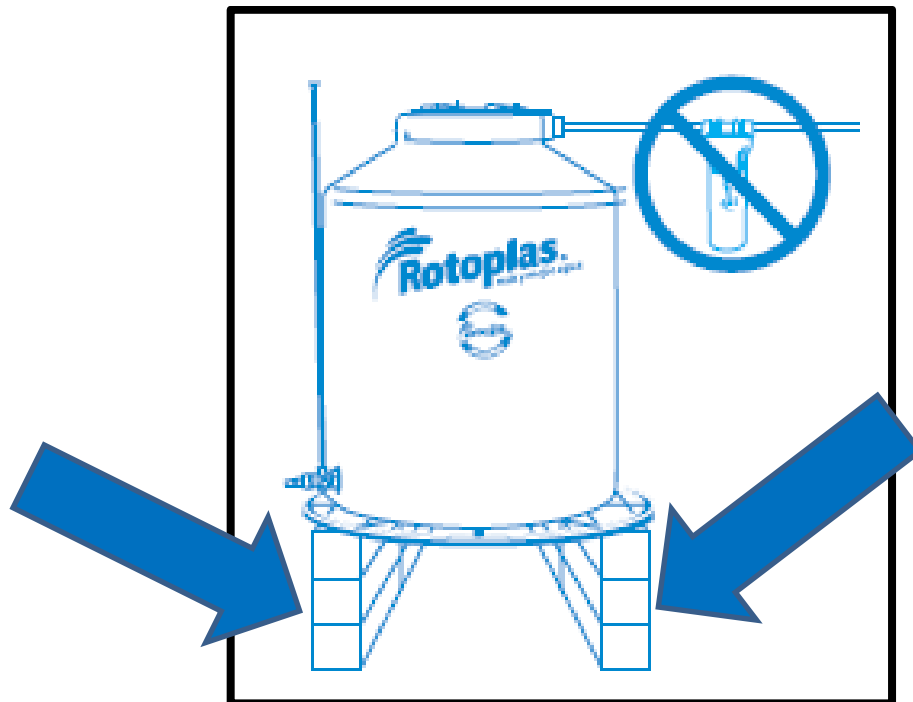


Fuente: elaboración propia, elaborado en autocad

4.1.1.1. **Dimensión de soporte estructural**

En este caso, la base que se utilizará será de *block* y concreto. Para el efecto se calculará la resistencia del mismo, al ser sujeto a un peso normalmente distribuido.

Figura 27. **Soporte estructural para el tanque de almacenamiento**



Fuente: Manual mantenimiento e instalación tinacos equipados Rotoplas. 2013.

4.1.1.2. **Esfuerzos totales de soporte estructural**

Para calcular los esfuerzos a los que está sometido el soporte estructural, consistente en *block* con concreto, el procedimiento por seguir es determinar y hacer la sumatoria del peso del tanque lleno en kilogramos y de la misma forma, calcular el área total y a partir de la aplicación la fórmula:

$$\text{Esfuerzo} = \text{fuerza} / \text{área}$$

Se determinan los esfuerzos. Después de tener el dato de los esfuerzos total, se procede a comparar esa información contra las resistencias del concreto por metro cuadrado para ver si cumple.

Los datos calculados son los siguientes:

El peso específico de una sustancia también es una propiedad característica su valor se determina dividiendo su peso entre el volumen que ocupa.

$$Pe = \text{peso/volumen} = \text{N/m}^3$$

Se puede obtener la relación entre la densidad y el peso específico de una sustancia sabiendo que:

$$\text{Peso} = \text{masa} \times \text{gravedad}$$

Entonces:

$$\rho = \text{masa/volumen} = \text{kg/m}^3$$

$$\rho = Pe/g$$

Tabla VIII. **Valores de densidad y peso específico de algunas sustancias**

Sustancia	Densidad (kg/m ³)	Peso específico (N/m ³)
Agua (4°C)	1 000	9 800
Alcohol	790	7 742
Aceite	915	8 967
Hielo	920	9 016
Madera	430	4 214
Oro	19 320	189 336
Hierro	7 860	77 028
Mercurio	13 600	13 280
Oxígeno (0°C)	1,43	14 014
Hidrógeno (0°C)	0,09	0,882

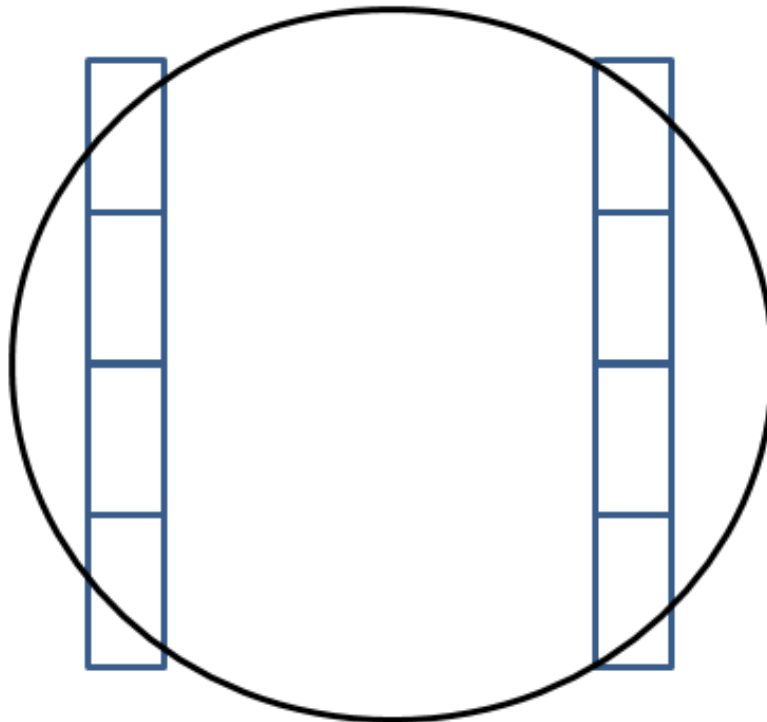
Fuente: Química General I, tabla de peso específico. McGraw Hill, 1998.

- Tanque principal

La capacidad del tanque principal de almacenamiento es de 2 500 litros. Se procede a convertir los litros a metros cúbicos.

$$2,500 \text{ lts} \times \frac{m^3}{1000 \text{ lts}} = 2.5 m^3$$

Figura 28. **Diseño del tanque de almacenamiento principal**



Diametro del tinaco: 1.55 metros y 1.60 mt de altura

Fuente: Elaboración propia, utilizando autocad

Peso específico del agua es 1 000 kg/m³

Por lo tanto, el peso del agua es de 2,5 x 1000 = 2 500 kg (El tanque principal es de 2 500 litros de capacidad).

Las dimensiones nominales de un bloque de concreto son:

- ancho 20cm
- largo 40cm

Considerando el diámetro del tanque de almacenamiento principal (155 cm), se necesitarían 4 bloques por largo (40 x 4 =160cm), se utilizan dos hileras (largo).

Se calcula el área de los 8 *block*, es: 20cm x 40cm x 8 = 6 400 cm² equivalentes a 0,64m²

La presión a la que deben someterse los bloques sería, por lo tanto:

$$P=F/A$$

$$P= 2 500\text{kg} + 20\text{kg (peso asumido del tanque)} / 0,64 \text{ m}^2$$

Esto es igual a 3 937 5 kg/m² lo cual es igual a 5,6 psi.

Se pueden observar a continuación las resistencias según la Norma NRD3 de la Coordinadora Nacional de Desastres, CONRED y COGUANOR <http://conred.gob.gt/www/normas/NRD3/NTG41054.pdf>

Tabla IX. Presión mínima por bloque en kg/cm²

Clase	Resistencia mínima ^A a compresión, calculada sobre área neta del bloque (1) kg/cm ² (Mpa)	
	Promedio de 5 bloques ó más	Mínimo de bloque individual ^B
A	133.0 (13.0)	113.0 (11.1)
B	100.0 (9.8)	85.0 (8.3)
C	66.0 (6.5)	56.0 (5.5)

Fuente: <http://conred.gob.gt/www/normas/NRD3/NTG41054.pdf> junio 2017.

5,6 psi es igual a 0,39kg/cm² por lo tanto podría utilizarse prácticamente cualquier tipo de bloque ya sea A, B, C.

Tabla X. Densidades específicas de casa tipo de bloque

Clase	Bloques	Densidad
A	Pesado	> 2000 kg/m ³ (125 lb/pie ³)
B	Medio	Igual ó mayor a 1680 kg/m ³ , pero menor de 2000 kg/m ³ (125 lb/pie ³)
C	Liviano	< 1680 kg/m ³ (105 lb/pie ³)

Fuente: <http://conred.gob.gt/www/normas/NRD3/NTG41054.pdf> junio 2017.

Tabla XI. **Medidas principales de cada tipo de bloque**

USO	Medidas principales nominales ó modulares (centímetros)			Medidas principales reales (centímetros)		
	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	Largo
Bloque de muro	20	20	40	19	19	39
	15	20	40	14	19	39
Medio bloque de muro	20	20	20	19	19	19
	15	20	20	14	19	19
Bloque de tabique	10	20	40	9	19	39
Medio bloque de tabique	10	20	20	9	19	19

Fuente: <http://conred.gob.gt/www/normas/NRD3/NTG41054.pdf> junio 2017.

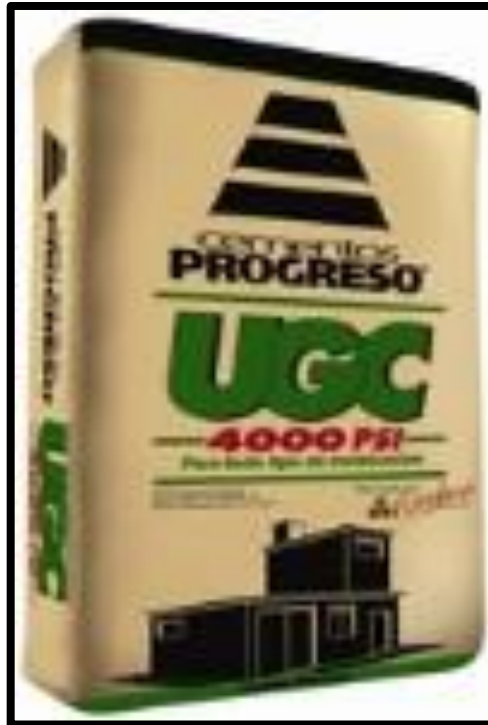
Se propone utilizar el siguiente tipo de concreto para la fabricación de la base:

- Cemento UGC 4000 psi

Este es un cemento portland con adición de puzolana natural y se clasifica como cemento para uso general en la construcción. Esto quiere decir que, por las características propias de este, puede ser utilizado en prácticamente todas las actividades típicas de la construcción, en especial en la fabricación de concreto premezclado y mezclado en obra y en la elaboración de morteros de diferentes tipos.

Después de analizar los resultados obtenidos, se puede concluir que la base puede ser construida utilizando los bloques arriba descritos y cemento UGC 4000 psi.

Figura 29. **Cemento UGC**



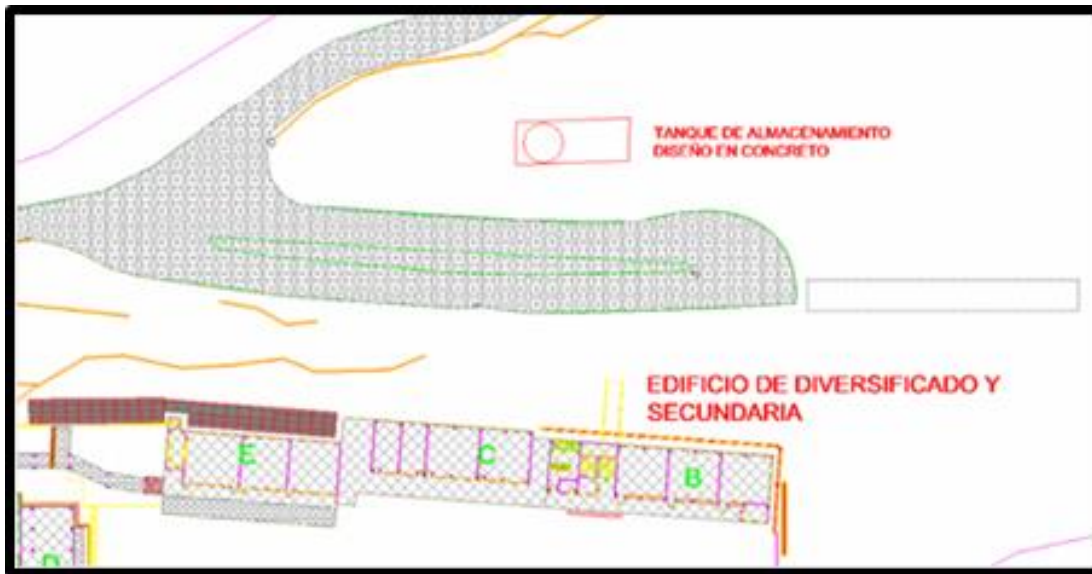
Fuente: Cementos Progreso. *Catálogo de productos.*

4.1.2. Instalación del tanque secundario

Para el diseño de este sistema de captación de agua pluvial, se está considerando a nivel de implementación, la instalación y uso de un tanque secundario. Este tiene como objetivo mejorar los niveles de servicio y aprovechamiento del líquido, en caso el tanque principal sufriera daños de tipo eléctrico o mecánico.

El tanque secundario es un tinaco Rotoplas con una capacidad volumétrica de 1 100 litros. Se observa a continuación la ubicación del tanque secundario.

Figura 30. **Ubicación de tanque secundario**

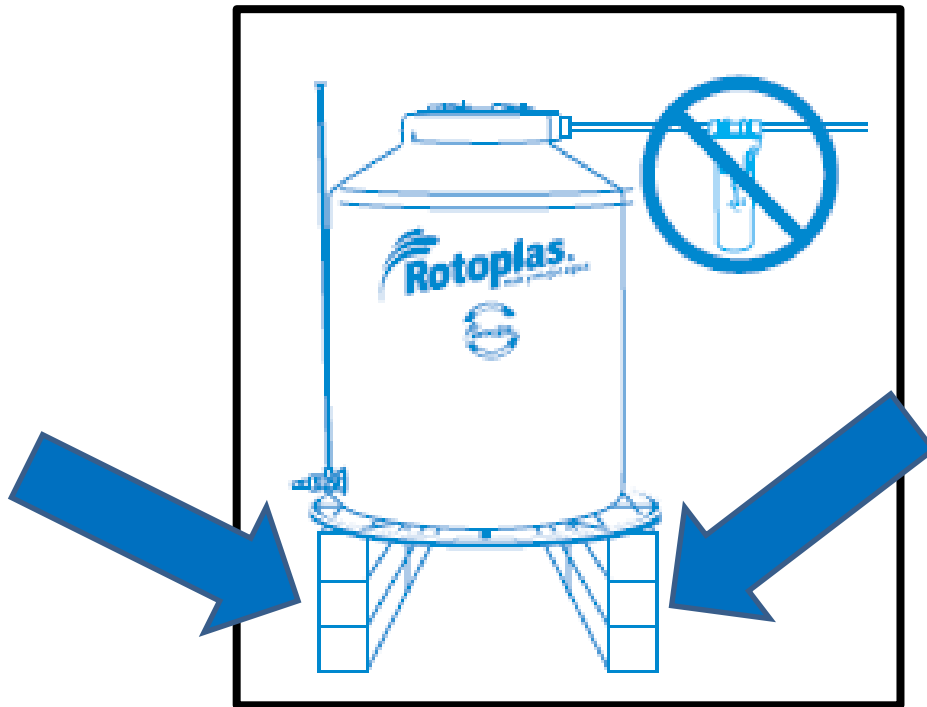


Fuente: elaboración propia. Elaborado en autocad

4.1.2.1. **Dimensión de soporte estructural**

Al igual que con el tanque de almacenamiento principal, la base que se utilizará será de *block* y concreto. Para el efecto se calculará la resistencia del mismo, al ser sujeto a un peso normalmente distribuido.

Figura 31. **Soporte estructural para el tanque de almacenamiento**



Fuente: Manual mantenimiento e instalación tinacos equipados Rotoplas. 2013.

4.1.2.2. **Esfuerzos totales de soporte estructural**

Para calcular los esfuerzos a los que está sometido el soporte estructural, consistente en *block* con concreto, el procedimiento por seguir es determinar y hacer la sumatoria. Los datos calculados son los siguientes del peso del tanque lleno en kg y de la misma forma, calcular el área total y a partir de la aplicación la fórmula:

$$\text{Esfuerzo} = \text{fuerza} / \text{área}$$

Se determinan los esfuerzos. Después de tener el dato de los esfuerzos total, se procede a comparar esa información contra las resistencias del concreto por metro cuadrado para ver si cumple.

Los datos calculados son los siguientes:

- Tanque secundario

La capacidad del tanque principal de almacenamiento es de 1 100 litros. Se procede a convertir los litros a metros cúbicos.

$$1,100 \text{ lts} \times \frac{m^3}{1000 \text{ lts}} = 1.1 \text{ m}^3$$

El peso específico del agua es 1000 kg/m^3

Por lo tanto, el peso del agua es de $1,1 \times 1\,000 = 1\,100 \text{ kg}$ (El tanque principal es de 2 500 litros de capacidad).

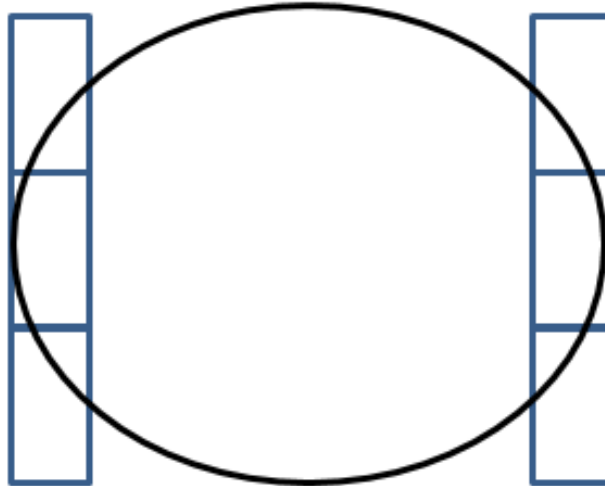
Las dimensiones nominales de un bloque de concreto son:

- ancho 20cm
- largo 40cm

Considerando el diámetro del tanque de almacenamiento principal (110 cm), se necesitarían 3 bloques por largo ($40 \times 3 = 120\text{cm}$), se utilizan dos hileras (largo).

Se calcula el área de los 6 *block*, es: $20\text{cm} \times 40\text{cm} \times 6 = 4\,800 \text{ cm}^2$ equivalentes a $0,48\text{m}^2$.

Figura 32. **Diseño preliminar del tanque de almacenamiento**



Diametro del tinaco: 1.10 metros y 1.40 mt de altura

Fuente: Elaboración propia. Elaborado en AutoCAD

La presión a la que debe someterse los bloques sería, por lo tanto:

$$P=F/A$$

$$P= 1\ 100\text{kg} + 20\text{kg (peso asumido del tanque vacío)} / 0,48\ \text{m}^2$$

Esto es igual a 2 333,3 kg/m² lo cual es igual a 3,3 psi.

Se pueden observar a continuación las resistencias según la norma NRD3 de la Coordinadora Nacional de Desastres, CONRED y COGUANOR <http://conred.gob.gt/www/normas/NRD3/NTG41054.pdf>

Tabla XII. Presión mínima por bloque en kg/cm²

Clase	Resistencia mínima ^A a compresión, calculada sobre área neta del bloque (1) kg/cm ² (Mpa)	
	Promedio de 5 bloques ó más	Mínimo de bloque individual ^B
A	133.0 (13.0)	113.0 (11.1)
B	100.0 (9.8)	85.0 (8.3)
C	66.0 (6.5)	56.0 (5.5)

Fuente: <http://conred.gob.gt/www/normas/NRD3/NTG41054.pdf> junio 2017.

3,3 psi es igual a 0,22 kg/cm² por lo tanto podría utilizarse prácticamente cualquier tipo de bloque ya sea A, B, C

Tabla XIII. Densidades específicas de casa tipo de bloque

Clase	Bloques	Densidad
A	Pesado	> 2000 kg/m ³ (125 lb/pie ³)
B	Medio	Igual ó mayor a 1680 kg/m ³ , pero menor de 2000 kg/m ³ (125 lb/pie ³)
C	Liviano	< 1680 kg/m ³ (105 lb/pie ³)

Fuente: <http://conred.gob.gt/www/normas/NRD3/NTG41054.pdf> junio 2017.

Tabla XIV. **Medidas principales de cada tipo de bloque**

USO	Medidas principales nominales ó modulares (centímetros)			Medidas principales reales (centímetros)		
	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	Largo
Bloque de muro	20	20	40	19	19	39
	15	20	40	14	19	39
Medio bloque de muro	20	20	20	19	19	19
	15	20	20	14	19	19
Bloque de tabique	10	20	40	9	19	39
Medio bloque de tabique	10	20	20	9	19	19

Fuente: <http://conred.gob.gt/www/normas/NRD3/NTG41054.pdf> junio 2017.

Se propone utilizar el siguiente tipo de concreto para la fabricación de la base:

- Cemento UGC 4000 psi

Este es un cemento portland con adición de puzolana natural y se clasifica como cemento para uso general en la construcción. Esto quiere decir que, por las características propias de este, puede ser utilizado en prácticamente todas las actividades típicas de la construcción, en especial en la fabricación de concreto premezclado y mezclado en obra y en la elaboración de morteros de diferentes tipos.

Después de analizar los resultados obtenidos, se puede concluir que la base puede ser construida utilizando los bloques arriba descritos y cemento UGC 4000 psi.

4.2. Automatización de caudal de agua

La automatización de caudal tiene una relación estrecha y dependiente de dos factores clave: tuberías para succión y descarga. Estas deben dimensionarse en función del caudal y longitud, para velocidades máximas de 1,5 m/s y mínimas pérdidas de carga, lo recomendable es usar cañerías de diámetro mayor a los de la bomba.

Es necesario definir los puntos a los cuales se les estará distribuyendo agua pluvial, considerando el criterio de que, para los servicios generales, servicios sanitarios y jardinería, se utilizará agua recolectada mediante el sistema propuesto en este trabajo de graduación.

Aquí se incluyen todos los accesorios necesarios para mantener bajo control el flujo de agua hacia los puntos de servicio.

El presente trabajo de graduación busca la implementación y automatización de caudal de agua que utiliza el sistema, para el efecto es imprescindible la constante revisión del nivel del líquido (agua) en el tanque de almacenamiento, como también del caudal que ingresa y sale del mismo. Para lograr controlar un proceso es importante tratarlo como un sistema continuo en el tiempo, en el cual cada una de sus partes, cumple una función y se interrelaciona con las demás.

Todo sistema continuo en el tiempo puede ser representado a través de una función de transferencia, la cual es una expresión matemática del modelo del sistema. En este trabajo de graduación se emplea la técnica de modelado con bloques funcionales para obtener la función de transferencia del proceso del control de nivel y caudal del agua en el sistema.

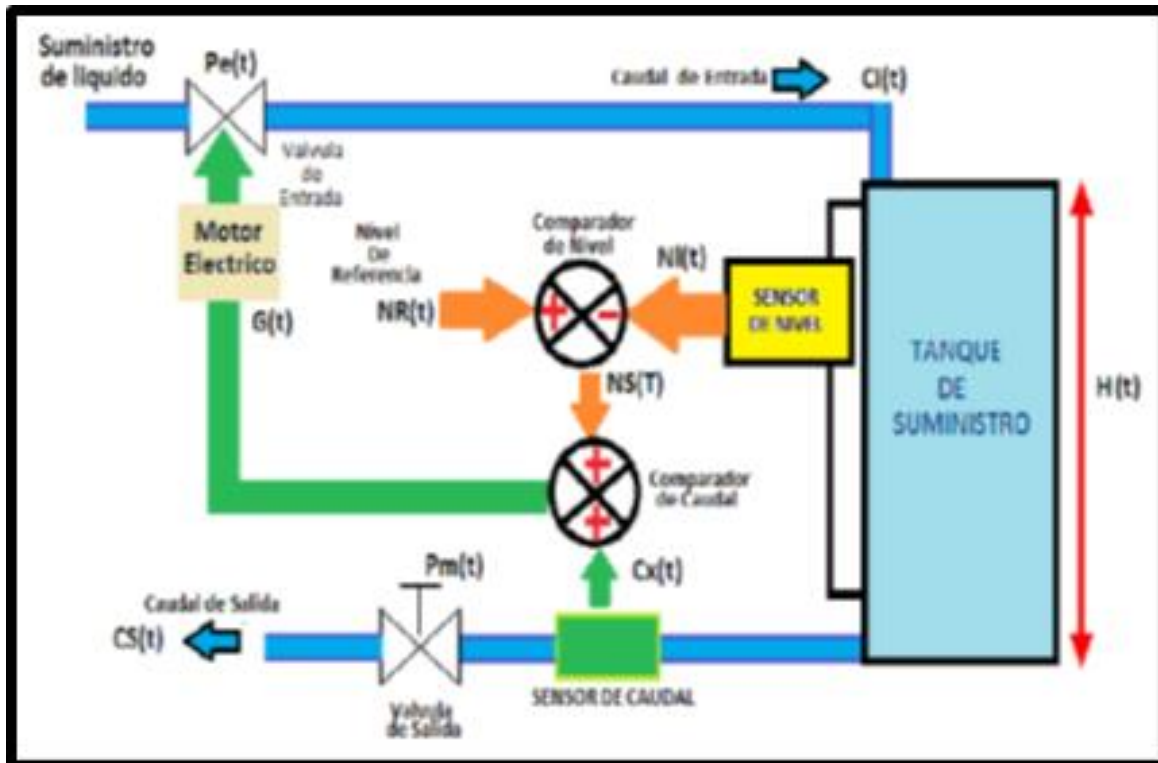
4.2.1. Incorporación del sistema de apertura de caudal

El sistema consta de un tanque de almacenamiento para el líquido (agua) de altura $H(t)$, esta variable representa el nivel del líquido, cuya entrada se regula a través de una electroválvula $P_e(t)$. El nivel del tanque se mide con el sensor que entrega una señal representada en un voltaje $NI(t)$ al comparador de nivel, este tiene un valor de referencia $NR(t)$ representado en un voltaje predeterminado.

El caudal de salida $CS(t)$ es medido por un sensor que entrega una señal de voltaje $C_x(t)$ ubicado antes de la válvula manual que regula el caudal de salida. Las señales entregadas por la salida del comparador de nivel $NS(t)$ y el sensor de caudal $C_x(t)$ se suman y dan como resultado una señal de voltaje $G(t)$, que hace girar el motor eléctrico para realizar la apertura de la electroválvula de entrada. Esto con el fin de que el sistema tenga un flujo continuo del caudal del agua en tanto no se llene el tanque.

La válvula de salida $P_m(t)$ es de tipo manual, así que por esta razón se le considerará como una entrada, por no depender de ninguna otra variable.

Figura 33. Diagrama de bloques para el sistema de control de nivel y caudal



Fuente: UMAÑA, Luis Alfredo. Revista ingeniería y arquitectura, modelo de control de nivel y caudal en un tanque de almacenamiento cilíndrico. 2013.

Los componentes críticos se definen a continuación:

- Válvula de entrada: $C_i(t) = K_1 \cdot P_e(t)$; $C_i(t)$ caudal de entrada K_1 constante que representa el caudal que fluye por la válvula de entrada en litros por segundo; $P_e(t)$ recorrido en grados de la válvula de entrada.

- Depósito de líquido: $C_i(t) - C_s(t) = A \cdot dH(t) / dt$; $C_s(t)$ caudal de salida
 A representa el área del depósito $dH(t) / dt$ Variación de la altura con respecto al tiempo que representa el nivel del mismo.
- Motor eléctrico: se puede considerar el motor eléctrico como un sistema de primer orden, con una ganancia estática m_1 y una constante de tiempo K_t , con una entrada $P_e(t)$ $m_1 \cdot G(t) = P_e(t) + K_t \cdot dP_e(t) / dt$; $G(t)$ tensión del motor de la válvula de entrada $N_S(t)$, tensión entregada por el comparador de nivel.
- Sensor de nivel: es de respuesta lineal $N_I(t)$ con una tensión constante T_n por cada metro de líquido $H(t)$; $N_I(t) = T_n \cdot H(t)$.
- Sensor de caudal: genera una tensión $C_x(t)$ proporcional al caudal medido $C_s(t)$ por una constante del sensor K_c $C_x(t) = C_s(t) \cdot K_c$.
- Comparadores: los comparadores de nivel y voltaje responden entregando tensiones de salida, para el comparador de nivel $N_s(t)$ y para el de caudal $G(t)$ respectivamente $N_s(t) = K_v \cdot [N_R(t) - N_i(t)]$; K_v constante de linealidad del sensor de nivel. $N_R(t)$ valor de referencia para el nivel del líquido. $N_i(t)$ señal entregada por el sensor de nivel. $G(t) = N_s(t) + K_q \cdot C_x(t)$; $N_s(t)$ diferencia de nivel entregada por el comparador de nivel $K_q =$ constante de linealidad del comparador de caudal $C_x(t)$ señal entregada por el sensor de caudal.
- Caudal de salida: $C_s(t)$ es proporcional al producto de la apertura de la válvula manual de salida $P_m(t)$ y la velocidad de salida del líquido más el aporte del caudal existente equivalente a $H(t)$. $C_s(t) = K_{pm} \cdot P_m(t) + H(t)$
(8) K_{pm} constante de la válvula de salida.

Debido a que el sistema tiene dos entradas, para hallar su función de transferencia, se debe aplicar el principio de superposición, de tal forma que se ha de anular la entrada $P_m(s)$ y hallar $H(s)$ debido a $N_R(s)$. Posteriormente, se anula $N_R(s)$ y se halla $H(s)$ debido a $P_m(s)$. Así la respuesta total será la suma de las dos respuestas individuales

4.2.2. Incorporación del sistema de bloqueo de caudal

Uno de los objetivos de este sistema es que el nivel del tanque no sea superado en ningún momento, lo cual garantiza que no se derramará el líquido.. En realidad, el comportamiento del sistema varía en función del caudal de entrada y automáticamente debe ser ajustada la válvula de salida.

Si se aumenta el caudal de entrada y disminuye el de salida, el nivel del tanque debe aumentar. Ante una situación como esta el sistema debe disminuir su valor, muy por debajo de su referencia, para garantizar un control efectivo y sin derrames de líquido.

Un punto importante y crítico por considerar es que el nivel del tanque de almacenamiento sigue al caudal de salida, la apertura de la válvula de salida es la encargada de regular el caudal de salida y así lograr un nivel más alto en el tanque.

4.3. Bomba de succión

La altura de succión de las bombas de superficie está limitada a 7 mts aproximadamente, dependiendo de la presión atmosférica disponible (a nivel del mar es de 1 bar) la tubería debe ser lo más corta y del mayor diámetro posible para disminuir las pérdidas de carga.

En bombas de gran tamaño, se debe calcular la altura de succión tomando en consideración la curva de NPSH. De este modo se evitará la cavitación (ebullición del agua debido a muy baja presión atmosférica), fenómeno físico químico que deteriora prematuramente la bomba.

En la siguiente figura se pueden apreciar las características técnicas de bombas centrífugas, especialmente diseñadas para el llenado de tinacos como el que se está utilizando en este proyecto de graduación.

Figura 34. **Características técnicas de bombas centrífugas**

Características técnicas			
Bomba Centrífuga	CM 050/23 M 1/2 HP	CM 075/30 M 3/4 HP	CM 100/36 M 1 HP
Temperatura máxima del líquido bombeado	50 °C	50 °C	50 °C
Máxima / mínima temperatura ambiente	40 °C / 5 °C	40 °C / 5 °C	40 °C / 5 °C
Número máximo de puestas en marcha / hora	40 distribuidas	40 distribuidas	40 distribuidas
Altura máxima de aspiración (aconsejada)	5 m (con pichancha)	5 m (con pichancha)	5 m (con pichancha)
Presión máxima de ejercicio (Válvula cerrada)	2.2 bar (kg / cm ²)	2.7 bar (kg / cm ²)	2.9 bar (kg / cm ²)
Altura máxima de descarga (Válvula cerrada)	22 m	27 m	29.7 m
Tensión	127 Vca	127 Vca	127 Vca
Caudal máximo (Q)	105 LPM	110 LPM	120 LPM
Corriente máxima	5.5 A	8.1 A	9.8 A
Potencia	1/2 HP	3/4 HP	1.0 HP
Frecuencia	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Consumo energético	453.62 Wh	331.4 Wh	977.21 Wh
Tipo de motor	Asincrónico	Asincrónico	Asincrónico
Velocidad de motor	3450 RPM	3450 RPM	3450 RPM
Aislamiento	Clase F	Clase F	Clase F
Grado de protección	IP 44	IP 44	IP 44
Conexión de succión	1"	1"	1"
Conexión de descarga	1"	1"	1"

Continuación de la figura 34

Bomba Centrífuga

Ideales para llenados de Tinacos y construcciones donde se requiera gran caudal.

Especificaciones Técnicas

- Llenado de Tinaco de 1 100 L en 20 minutos (Bomba de 1/2 HP a una altura máxima de 5 metros).



Fuente: Manual mantenimiento e instalación tinacos equipados rotoplas, 2013.

Luego de revisar y analizar las alturas de succión y geométricas, y considerar el caudal máximo requerido para satisfacer y cubrir las necesidades de servicios generales y riesgo (incluyendo jardinería), la bomba que se utilizará es de una potencia igual a 1 HP.

4.3.1. Instalación antes de la boquilla de aspiración

Dentro de la instalación del sistema, la boquilla de aspiración juega un papel muy importante, especialmente por su ubicación, es por ellos que la instalación

de los componentes descritos a continuación es clave para el funcionamiento del sistema propiamente dicho.

4.3.1.1. Conexión baipás

Esta instalación se realiza por temas de seguridad, en caso de saturación o limpieza del sistema o porque es necesario desarmar algún componente del mismo, se hace baipás para desviar el flujo y llevar a cabo los mantenimientos que sean necesarios.

Es muy importante también definir con exactitud la cantidad de conexiones de este tipo que se realizarán, así como la ubicación estratégica de las mismas para que puedan ser activadas al momento de ser requeridas.

4.3.1.1.1. Válvula de compuerta

La válvula de compuerta se abre mediante el levantamiento de una compuerta o cuchilla (la cual puede ser redonda o rectangular) así permite el paso del fluido.

Lo que distingue a las válvulas de este tipo es el sello, el cual se hace mediante el asiento del disco en dos áreas distribuidas en los contornos de ambas caras del disco. Las caras del disco pueden ser paralelas o en forma de cuña. Las válvulas de compuerta no son empleadas para regulación.

Las válvulas de compuerta presentan algunas ventajas que pueden ser mencionadas:

- Alta capacidad
- Cierre hermético

- Bajo costo
- Diseño y funcionamiento sencillos
- Poca resistencia a la circulación

Algunas de las desventajas que pueden mencionarse son:

- Control deficiente de la circulación
- Se requiere mucha fuerza para accionarla
- Produce cavitación con baja caída de presión
- Debe estar abierta o cerrada por completo
- La posición para estrangulación producirá erosión del asiento y del disco.

Figura 35. **Válvula de compuerta**



Fuente: Manual mantenimiento e instalación tinacos equipados Rotoplas. 2013.

4.3.2. Instalación después de la boquilla de impulsión

En este caso, los componentes descritos a continuación se colocan después de la boquilla de impulsión, esta también cumple con una función específica y determinante para la operación del sistema, ya que es por donde el flujo de agua será distribuido según el diseño establecido en el sistema.

4.3.2.1. Conexión baipás

El objetivo de este tipo de instalaciones es desviar el flujo de agua cuando se considere necesario y realizar así, mantenimientos programados, igualmente aplica si se presenta saturación del sistema.

Al igual que en la instalación antes de la boquilla de aspiración, debe quedar definida la cantidad de conexiones, así como la ubicación estratégica de las mismas para que puedan ser activadas al momento de ser requeridas.

4.3.2.1.1. Válvula de compuerta

Las válvulas de compuerta al igual que en el caso anterior, son de gran utilidad para el proceso y deben ser manejadas adecuadamente las ventajas que representan con la característica de tener un bajo costo, así como entender las desventajas que potencialmente pueden presentarse, por ejemplo, una caída de presión por cavitación.

La promoción se llevará a cabo por medio de los correos electrónicos del personal y de anuncios que se colocarán en las instalaciones del almacén.

4.4. Inversión del proyecto

Una parte muy importante de este trabajo de graduación, es cuantificar la propuesta del sistema de captación de agua pluvial para el centro escolar Solalto.

Considerando la opción elegida para la implementación del sistema, se procede a desglosar y estimar el costo de cada uno de los rubros que mayor impacto pueden tener y que deben ser considerados para realizar el análisis correspondiente.

El objetivo principal es que el proyecto sea capaz auto sostenible y que pueda recuperarse la inversión en un tiempo relativamente corto. La proyección para el análisis del dinero e inversión en el tiempo, se realiza utilizando el método de valor actual neto (VAN).

Mediante la aplicación y cálculo de la viabilidad financiera del proyecto utilizando el VAN, se consideran los flujos netos de cada período (se definió que para efectos del análisis inicial, la base sería mensual), estos incluyen los gastos en los que se incurre desde el inicio del proyecto. Aquí es donde se realiza la inversión inicial (materiales, tanques de almacenamiento, bombas, tubería, etcétera) y se considerará como ingreso para efectos del cálculo financiero, el ahorro que se está proyectando obtener mes a mes, a través de la utilización del agua que ha sido recolectada mediante el sistema propuesto.

Inicialmente se consideró que el tanque de almacenamiento fuera de concreto y estuviera bajo tierra, se realizó una evaluación financiera preliminar y comparando con otras alternativas, no era viable desde el punto de vista financiero el seleccionar ese tipo de tanque de almacenamiento.

4.4.1. Costo de materiales y equipo

En esta categoría se consolidan los gastos más representativos para la implementación de este trabajo de graduación, considerando la naturaleza de la opción seleccionada para el tanque de almacenamiento, se buscó uno que incluya todos los accesorios. Un efecto colateral positivo de esta decisión, es que el rubro de costo de fabricación se reduce considerablemente.

Esta decisión reduce considerablemente el rubro de costo de materiales, ya que prácticamente los componentes con mayor costo, a excepción de la bomba, vienen incluidos en el tanque y esto beneficia a la instalación también. Vale la pena mencionar que, en el caso del costo del equipo de protección personal requerido para la implementación, este se ve reducido de una manera importante, el enfoque únicamente es a uniforme, guantes y cascos para la instalación.

Tabla XV. Costo de materiales y equipo

Descripción		Monto aproximado (Quetzales)
Materiales	<ul style="list-style-type: none">• Tubería PVC• Empalmes• Ductería• Accesorios	Q1 500,00
Equipo	<ul style="list-style-type: none">• Tanque de almacenamiento principal (2 500 litros de capacidad)• Tanque de almacenamiento secundario (1 100 litros)• Bomba centrífuga (1HP)	Q7 200,00

Fuente: proyección, elaboración propia.

4.4.2. Costo de las herramientas y equipo de protección personal

El costo de herramientas proyectado para la implementación del sistema de captación se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla XVI. Costo de herramientas y equipo de protección personal

	Descripción	Monto aproximado (Quetzales)
Herramientas y equipo de protección personal	<ul style="list-style-type: none">• Llave inglesa• Cortador de tubería• Sierra para corte de PVC• Accesorios• Equipo de protección personal (EPP)	Q. 1 750,00

Fuente: proyección, elaboración propia.

4.4.3. Costo de fabricación

Según lo expuesto en los numerales anteriores y considerando el tipo de tanque de almacenamiento que se utilizará para la implementación del sistema propuesto en este trabajo de graduación. El costo de fabricación es mínimo, comparado con la idea evaluada originalmente que era construir un tipo de tanque de almacenamiento diferente, que implicaba costos de materiales directos y mano de obra directa más elevados.

Se presentan a continuación los costos de materiales directos y mano de obra directa proyectados para el montaje del sistema.

Tabla XVII. **Costos de fabricación**

Descripción		Monto aproximado (Quetzales)
Costos directos	<ul style="list-style-type: none"> • Mano de obra contratada • Materiales directos para el desarrollo del proyecto 	Q. 6 000,00
Costos indirectos	<ul style="list-style-type: none"> • Impuestos • Mantenimiento 	Q. 750,00

Fuente: *proyección, elaboración propia.*

4.4.4. **Costo de mantenimiento**

A continuación, se presentan los costos proyectados de mantenimiento del sistema de captación propuesto, esto incluye las revisiones, supervisiones y plan de mantenimiento preventivo que debe ser implementado, durante el primer año del proyecto. Se espera que este costo sea mínimo, tomando en cuenta que el equipo que se está adquiriendo es nuevo, esto reduce el costo de mantenimiento durante los primeros años de operación del proyecto.

Tabla XVIII. **Costos de mantenimiento**

Descripción		Monto aproximado (Quetzales)
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Repuestos • Suministros 	Q. 500,00

Fuente: *elaboración propia, proyección.*

5. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

5.1. Generalidades

La evaluación de impacto ambiental (EIA) consiste en un análisis que incluye aquellos proyectos (obras o actividades) cuya ejecución pueda tener impactos ambientales que afectarían muy parcialmente el ambiente y donde sus efectos negativos pueden ser eliminados o minimizados mediante la adopción de medidas conocidas y fácilmente aplicables.

5.1.1. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

El MARN es la entidad del sector público en Guatemala especializada en materia ambiental y de bienes y servicios naturales del sector público, al cual le corresponde proteger los sistemas naturales que desarrollen y dan sustento a la vida en todas sus manifestaciones y expresiones, fomentando una cultura de respeto y armonía con la naturaleza. Protegiendo, preservando y utilizando racionalmente los recursos naturales, con el fin de lograr un desarrollo sostenible a través de generaciones, articulando el quehacer institucional, económico, social y ambiental, con el propósito de forjar una Guatemala competitiva, solidaria, equitativa, inclusiva y participativa.

Los lineamientos que esta institución brinda a la industria en el país, son la base para plantear una propuesta de sistema que permita obtener un impacto ambiental que sea positivo para la comunidad en la que se encuentra el centro educativo SOLALTO y que, a su vez, cumpla con los requerimientos mínimos del

MARN al momento de que el proyecto sea materializado y, por consiguiente, evaluado ya por la institución en mención.

5.1.2. Tipos de impacto ambiental

El impacto ambiental es el efecto que produce la actividad humana sobre el ambiente. El concepto puede extenderse a los efectos de un fenómeno natural catastrófico. Técnicamente, es la alteración de la línea de base ambiental.

Las acciones de las personas sobre el ambiente siempre provocarán efectos colaterales sobre este.

La preocupación por los impactos ambientales abarca varios tipos de acciones, como la contaminación de los mares con petróleo, los desechos de la energía radioactiva o desechos radioactivos/nucleares, la contaminación auditiva, la emisión de gases nocivos, o la pérdida de superficie de hábitats naturales, entre otros.

Los tipos de impacto ambiental² de forma tradicional pueden clasificarse por sus atributos y alcances, como carácter, duración, magnitud y reversibilidad, entre otros.

De esta forma, se pueden mencionar los siguientes tipos de impacto ambiental:

- Impacto negativo o positivo: toma en cuenta si la acción resulta en un perjuicio o en un beneficio para el ambiente.

²Enciclopedia de Clasificaciones. *Tipos de impacto ambiental*.

<http://www.tiposde.org/ciencias-naturales/763-tipos-de-impacto-ambiental/>. Octubre 2017

- Impacto directo (o primario) e indirecto (o secundario): considera si existe un vínculo directo entre la acción ejercida y su consecuencia, o si la acción impacta sobre un primer componente del ambiente y este, a su vez, impacta en un segundo.
- Impacto actual y potencial: se refiere a si los efectos sobre el ambiente son ciertos e inmediatos o si solo existe la posibilidad de que ocurran en otro momento.
- Impacto acumulativo: ocurre cuando el efecto de la acción se agrava de manera progresiva conforme transcurre el tiempo. Esto a menudo sucede porque no existen mecanismos de disipación del daño.
- Impacto temporal (o reversible) o permanente (o irreversible): hace referencia a la posibilidad o imposibilidad de que el ambiente impactado retorne a sus condiciones originales

5.1.3. Ventajas y desventajas

Las ventajas y desventajas van directamente asociadas a la metodología que vaya a ser seleccionada para la evaluación del impacto ambiental, tienen una estrecha relación también con el tipo de impacto que esté siendo analizado.

5.1.4. Metodología para la evaluación de impacto ambiental

Numerosos tipos de métodos han sido desarrollados y usados en el proceso de evaluación del impacto ambiental (EIA) de proyectos. Sin embargo, ningún tipo de método por sí solo puede ser usado para satisfacer la variedad y tipo de actividades que intervienen en un estudio de impacto, por lo tanto, el tema clave

está en seleccionar adecuadamente los métodos más apropiados para las necesidades específicas de cada estudio de impacto.

Las características deseables en los métodos que se adopten comprenden los siguientes aspectos:

- Ser adecuados a las tareas que hay que realizar como la identificación de impactos o la comparación de opciones.
- Ser lo suficientemente independientes de los puntos de vista personales del equipo evaluador y sus sesgos.
- Ser económicos en términos de costes y requerimiento de datos, tiempo de aplicación, cantidad y tiempo de personal, equipo e instalaciones.

Para este trabajo de graduación se lista la metodología que se empleará para la evaluación de impacto ambiental del proyecto.

- Listas de chequeo

Hay muchas variedades de listas de chequeo, este tipo de metodología es la más frecuentemente utilizada en los procesos de EIA. Típicamente, la lista de chequeo contiene una serie de puntos, asuntos de impacto o cuestiones que el usuario atenderá o contestará como parte del estudio de impacto. Tales listas representan recordatorios útiles para identificar impactos y proporcionar una base sistemática y reproducible para el proceso de EIA.

- Matrices de interacción

Representan un tipo de método ampliamente usado en los procesos de EIA. Las variaciones de las matrices sencillas de interacción han sido desarrolladas

para enfatizar rasgos característicos deseables, las matrices representan un tipo de método muy útil para el estudio de diversas actividades dentro de los procesos de EIA.

- Redes

Se refiere a un grupo de métodos que definen las conexiones o relaciones entre acciones proyectadas e impactos resultantes. Estos tipos de métodos están referenciados de alguna manera con la práctica de EIA, por ejemplo, árboles de impacto, impacto de cambios, diagramas causa-efecto o diagramas de consecuencias.

Las redes son útiles para mostrar las relaciones entre impactos primarios, secundarios y terciarios, resultantes de acciones particulares. Pueden también ser utilizados junto con matrices como una herramienta para la identificación de impactos y la predicción cualitativa de los mismos.

5.2. Verificación de impacto ambiental

Es importante verificar el impacto ambiental del proyecto considerando la alteración del medio ambiente provocada directa o indirectamente por este proyecto en el área de Solalto.

5.2.1. Matriz Leopold

Desarrollado por el Servicio Geológico del Departamento del Interior de Estados Unidos, inicialmente fue diseñado para evaluar los impactos asociados con proyectos mineros y, posteriormente, ha resultado útil en proyectos de construcción de obras.

Se desarrolla una matriz al objeto de establecer relaciones causa-efecto de acuerdo con las características particulares de cada proyecto, a partir de dos listas de chequeo que contienen posibles acciones proyectadas y factores ambientales susceptibles de verse modificados por el proyecto.

Realmente, no es un sistema de evaluación ambiental, es esencialmente un método de identificación y puede ser usado como un método de resumen para la comunicación de resultados.

5.2.1.1. Especificaciones

El sistema consiste en una matriz de información donde las columnas representan varias actividades que se hacen durante el proyecto (por ejemplo: extracción de tierras, incremento del tráfico, ruido, polvo...), y en las filas se representan varios factores ambientales que son considerados (aire, agua, geología).

Las intersecciones entre ambas se numeran con dos valores, uno indica la magnitud (de -10 a +10) y el segundo la importancia (de 1 a 10) del impacto de la actividad respecto a cada factor ambiental. Las medidas de magnitud e importancia tienden a estar relacionadas, pero no necesariamente están directamente correlacionadas. El número de acciones que figuran en el eje horizontal es de 100 (tabla 4). El número de los factores ambientales que figuran en el eje vertical es de 88 (tabla 4). Esto resulta en un total de 8 800 interacciones. En la práctica, solo algunas de las interacciones involucran impactos de tal magnitud e importancia para justificar un tratamiento detallado.

Tabla XIX. **Matriz de Leopold**

Tabla 4. Acciones listadas en el eje horizontal de la matriz de Leopold.		
<p>ACCIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> • <p>[Acciones propuestas las cuales pueden causar impacto ambiental]</p> <ul style="list-style-type: none"> • 	<p>A. Modificación del régimen</p>	a. Introducción de flora o fauna exóticas
		b. Controles biológicos
		c. Modificación de hábitat
		d. Alteración de la cobertura vegetal del suelo
		e. Alteración del flujo de agua subterránea
		f. Alteración de patrones a drenaje
		g. Control de ríos y modificación de flujo
		h. Canalización
		i. Irrigación
		j. Modificación del clima
	<p>B. Transformación del terreno y construcción</p>	k. Quema de bosques
		l. Pavimentación
		m. Ruido y vibraciones
		a. Urbanización
		b. Sitios y edificios industriales
		c. Aeropuertos
		d. Carreteras y puentes
		e. Caminos y senderos
		f. Ferrocarriles
		g. Cables y ascensores
h. Líneas de transmisión, gasoductos y corredores		

Continuación tabla XIX

		i. Barreras, incluyendo cercas
		j. Dragado y enderezamiento de canales
		k. Revestimiento de canales
		l. Canales
		m. Presas y embalses
		n. Muelles, malecones, marinas, y terminales marítimos
		o. Estructuras de altamar
		p. Estructuras de recreación
		q. Perforación y voladura
		r. Corte y relleno
		s. Túneles y estructuras subterráneas
	C. Explotación de recursos	a. Perforación y voladura
		b. Excavación de superficie
		c. Excavación del subsuelo
		d. Perforación de pozos
		e. Dragado
		f. Tala de bosques
		g. Pesca comercial y caza
	D. Procesamiento	a. Agricultura
		b. Ganadería y pastoreo
c. Plantas de engorde de ganado		
d. Plantas de producción de leche		
e. Generación de energía		
f. Procesamiento de minerales		
g. Industria metalúrgica		

Continuación tabla XIX

		h. Industria química
		i. Industria textil
		j. Automóviles y aeronaves
		k. Refinación de petróleo
		l. Alimentos
		m. Madera
		n. Pulpa y papel
		o. Almacenamiento de productos
	E. Modificación del terreno	a. Control de erosión y terrazas
		b. Sellado de minas y control de desechos
		c. Rehabilitación de minas a tajo abierto
		d. Paisajismo
		e. Dragado de puertos
		f. Drenaje de humedales y pantanos
	F. Renovación de recursos	a. Reforestación
		b. Gestión de vida silvestre
		c. Recarga de agua subterránea
		d. Aplicación de fertilizantes
		e. Reciclaje de residuos
	G. Cambios en el tráfico	a. Red ferroviaria
		b. Automóviles
		c. Camiones
		d. Transporte de carga
		e. Aviones
f. Ríos y canales		

Continuación tabla XIX

		g. Botes de placer
		h. Senderos
		i. Cables y ascensores
		j. Comunicación
		k. Tuberías y conductos forzados
	H. Emplazamiento y tratamiento de residuos	a. Vertido en los océanos
		b. Rellenos sanitarios
		c. Colocación de residuos mineros
		d. Almacenamiento debajo del terreno
		e. Eliminación de basura
		f. Inundación de pozos de petróleo
		g. Colocación de pozos de petróleo
		h. Agua de enfriamiento industrial
		Aguas servidas municipales, incluyendo irrigación
		j. Descarga a efluentes municipales
		k. Lagunas de estabilización y oxidación
		l. Tanques sépticos, comerciales y domésticos
		m. Emisiones de chimeneas al aire libre
	n. Lubricantes usados	
	I. Tratamientos químicos	a. Fertilización
		b. Deshielo de carreteras
		c. Estabilización de suelos
		d. Control de malezas
		e. Control de insectos y pesticidas

Continuación tabla XIX

	J. Accidentes	a. Explosiones
		b. Vertidos y filtraciones
		c. Falla operacional
	K. Otros	a. A ser determinado
		b. A ser determinado

Fuente: Leopold, L. B., F. E. Clarke, B. B. Hanshaw, and J. E. Balsley. 1971. A procedure for evaluating environmental impact. U.S. Geological Survey Circular 645, Washington, D.C.

Tabla XX. Factores listados en el eje vertical de la matriz de Leopold

Tabla 4. Factores listados en el eje vertical de la matriz de Leopold.			
<p>FACTORES</p> <ul style="list-style-type: none"> • <p>[Características y condiciones existentes en el medio ambiente]</p> <ul style="list-style-type: none"> • 	A. Características físicas y químicas	1. Tierra	a. Recursos minerales
			b. Materiales de construcción
			c. Suelos
			d. Forma del terreno
			e. Ondas electromagnéticas
			f. Condiciones físicas únicas
		2. Agua	a. Superficial
			b. Océano
			c. Subterránea
			d. Calidad del agua
			e. Temperatura
			f. Recarga
			g. Nieve, hielo y hielo perenne

Continuación tabla XX

		3. Atmósfera	a. Calidad del aire (gases, partículas)
			b. Clima (micro, macro)
			c. Temperatura
		4. Procesos	a. Avenidas
			b. Erosión
			c. Deposición (sedimentación, precipitación)
			d. Solución
			e. Adsorción (intercambio iónico)
			f. Compactación y asentamiento
			g. Estabilidad de taludes (deslizamientos)
	h. Esfuerzo- deformación (terremotos)		
	.Movimientos de .masas de aire		
	B. Condiciones biológicas	1. Flora	a. Árboles
			b. Arbustos
			c. Pastos
d. Productos agrícolas			
e. Microflora			
f. Plantas acuáticas			
h. Especies en peligro			

Continuación tabla XX

		2. Fauna	h. Barreras
			i. Corredores
			a. Pájaros
			b. Animales terrestres, incluyendo reptiles
			c. Peces y moluscos
			d. Organismos bénticos
			e. Insectos
			f. Microfauna
			g. Especies en peligro
			h. Barreras
	i. Corredores		
	C. Factores culturales	1. Uso de la tierra	a. Vida silvestre y espacios abiertos
			b. Humedales
			c. Bosques
			d. Pastoreo
			e. Agricultura
			f. Residencial
			g. Comercial
			h. Industrial
			.Minería y extracción de materiales
2. Recreación		a. Caza	
b. Pesca			

Continuación tabla XX

			c. Navegación por placer
			d. Natación
			e. <i>Camping</i> y caminatas
			f. Salidas al campo
			g. Centros de vacaciones y placer
		3. Interés estético y humano	a. Vistas escénicas
			b. Calidad de vida silvestre
			c. Calidad de espacio abierto
			d. Diseño del paisaje
			e. Condiciones físicas únicas
			f. Parques y reservas forestales
			g. Monumentos
			h. Especies o ecosistemas raros y únicos
			.Sitios y objetos .históricos o .arqueológicos

Continuación tabla XX

			j. Presencia de elementos raros
		4. Aspectos culturales	a. Patrones culturales (estilo de vida)
			b. Salud y seguridad
			c. Empleo
			d. Densidad de población
		5. Facilidades y actividades humanas	a. Estructuras
			b. Red de transporte
			c. Redes de servicios
			d. Manejo de residuos
			e. Barreras
			f. Corredores
	D. Relaciones ecológicas		a. Salinización de recursos hídricos
			b. Eutrofización
			c. Insectos vectores de enfermedades
			d. Cadenas tróficas
			e. Salinización del terreno
			f. Aumento del área arbustiva
			g. Otros
	E. Otros		a. A ser determinado
			b. A ser determinado

Fuente: Leopold, L. B., F. E. Clarke, B. B. Hanshaw, and J. E. Balsley. 1971. *A procedure for evaluating environmental impact*. U.S. Geological Survey Circular 645, Washington, D.C.

5.2.2. Selección de preguntas

Esta etapa dentro del estudio es básica ya que de alguna manera da respuesta a los cuestionamientos principales sobre la viabilidad de tipo ecológica que el proyecto representa. Aquí se busca de una manera preliminar generar una batería de preguntas que puedan indicar al final, el tipo de impacto ambiental que el proyecto tendrá en el centro educativo Solalto.

La pregunta inicial y básica para responder al realizar este trabajo de graduación es ¿cuál es el beneficio que se obtendrá con la implementación del sistema de captación pluvial y cuál será el tipo de impacto ambiental que conlleva su implementación?

5.2.2.1. Identificación de los impactos ambientales

La fase de identificación de los impactos es muy importante porque una vez conocidos los efectos se pueden valorar las consecuencias, con más o menos precisión por diferentes sistemas. Para no omitir ningún aspecto importante, se hace útil elaborar una lista de control lo más amplia posible, tanto de los componentes o factores ambientales como de las actividades del proyecto.

5.2.2.1.1. Lista de verificación de impactos

La principal función de esta lista es la de servir en las primeras etapas para identificar los impactos ambientales, su contenido cambia según el tipo de proyecto y el medio de actuación, por lo que no son inmutables. Hay dos tipos de componentes a conocer, unos ambientales en los que se incluyen elementos de naturaleza física, biológica y humana y otros que serían los componentes del

proyecto en el que se incluyen las actuaciones realizadas en las etapas de pre construcción, construcción y explotación.

Desafortunadamente no propicia el establecimiento de los vínculos causa-efecto en las diferentes actividades del proyecto y generalmente no incluye una interpretación global del impacto.

5.2.2.1.2. Red de interacción de impactos

Las redes representan un avance en relación con las técnicas anteriores, ya que establecen relaciones de tipo causa-efecto, permitiendo una mejor identificación de los impactos y de sus interrelaciones.

Estos diagramas son métodos que integran las causas de los impactos y sus consecuencias, mediante la identificación de las interrelaciones existentes entre las actividades o acciones causales y los factores ambientales impactados, incluyendo aquellas que representan sus efectos secundarios y terciarios.

Uno de los métodos más conocidos es el de Sorensen, elaborado en 1971 para analizar diversos tipos de uso del suelo en regiones costeras.

Se trata principalmente de una técnica de identificación de efectos, que parte de la caracterización de diferentes usos del suelo, los cuales se desdoblan o explican diversos factores causales, que a su vez implican impactos ambientales clasificados en: condiciones iniciales y consecuencias-efectos.

La técnica pretende poner de relieve las interacciones entre componentes ambientales y, por tanto, la relación causa-efecto de segundo, tercero y más alto grado. Se hace una lista de las acciones del proyecto, las cuales se ligan a cambios en el entorno mediante relaciones causa-efecto, lo que el método describe como “condiciones de cambio”.

Posteriormente son adicionadas, como columnas, acciones correctivas y mecanismos de control, para cada uno de los impactos finales. En términos prácticos, el método comienza con la identificación de las acciones que hacen parte del proyecto, y cómo estas producen diversos tipos de impacto, en tres fases: condiciones iniciales y consecuencias efectos.

5.2.2.2. Evaluaciones de los impactos ambientales

Básicamente la evaluación de impacto ambiental que se realizó en este trabajo de graduación incluye una levantado inicial de impactos potenciales mediante una lista de chequeo inicial que sirvió de base para la elaboración de una matriz de interacción, el enfoque se dio al análisis de causa-efecto de los impactos planteados. De igual manera se revisaron las condiciones iniciales antes de la realización e implementación del proyecto para luego proyectar las consecuencias y los efectos que el sistema de captación tiene sobre el centro educativo Solalto.

5.2.2.2.1. Calificación de impacto ambiental

Después de realizado el análisis descrito en el número 5.2.2.2, se puede determinar que este proyecto de captación de agua pluvial, el impacto ambiental de este proyecto será desarrollado en el numeral 5.2.3 Realización de Matriz, considerando que el carácter del mismo es de beneficio social, tiene una duración claramente determinada y es para un largo plazo. Es un sistema relativamente fácil de implementar que brindará beneficios directos al centro educativo Solalto. Cabe mencionar que es de tipo reversible ya que en cualquier momento puede ser deshabilitado o bien, puede ser ampliado a requerimiento de las altas autoridades.

5.2.2.2. Selección de alternativas

Para el presente trabajo de graduación se evaluaron diferentes alternativas para el diseño del sistema de captación, después de una revisión y evaluación financiera preliminar, las opciones que fueron consideradas como opciones reales fueron en el caso del tanque de almacenamiento, utilizar un tanque de concreto subterráneo o utilizar un tanque de almacenamiento tipo Rotoplas ubicado sobre el nivel del suelo.

Se utilizó el método de evaluación financiera de costo/beneficio, considerando que adicional al beneficio económico que sería obtenido, el proyecto cumpliría con reforzar el tema de responsabilidad social y apoyo a la comunidad en donde se encuentra actualmente ubicado. Como resultado de este análisis financiero, se toma la decisión de que el tanque de almacenamiento sea tipo Rotoplas. Primero por la facilidad de montaje y mantenimiento, así como considerando el costo inicial de la inversión que de alguna forma debe ser recuperado en un tiempo razonable. La opción de tanque subterráneo de concreto tiene un costo demasiado elevado y principalmente por esta razón, fue descartado como alternativa.

5.2.3. Realización de matriz

Para la utilización de la matriz de Leopold, el primer paso consiste en la identificación de las interacciones existentes, para lo cual, se deben tomar en cuenta todas las actividades que pueden tener lugar debido al proyecto. Se recomienda operar con una matriz reducida, excluyendo las filas y las columnas que no tienen relación con el proyecto. Posteriormente y para cada acción, se consideran todos los factores ambientales que puedan ser afectados

significativamente, trazando una diagonal en las cuadrículas donde se interceptan con la acción.

Cada cuadrícula marcada con una diagonal admite dos valores:

- Magnitud: valoración del impacto o de la alteración potencial por ser provocada; grado, extensión o escala; se coloca en la mitad superior izquierda.
- Hace referencia a la intensidad, a la dimensión del impacto en sí mismo y se califica del 1 al 10 de menor a mayor, anteponiendo un signo + para los efectos positivos y – para los negativos.
- Importancia: valor que da el peso relativo del potencial impacto, se escribe en la mitad inferior derecha del cuadro.

Hace referencia a la relevancia del impacto sobre la calidad del medio, y a la extensión o zona territorial afectada, se califica también del 1 al 10 en orden creciente de importancia. Una vez llenas las cuadrículas el siguiente paso consiste en evaluar o interpretar los números colocados.

Puede haber factores ambientales que sean afectados de forma crítica, pero que, dentro del medio receptor, ese factor no tenga excesiva importancia o, al contrario, un impacto de magnitud limitada, aunque solo sea temporalmente, sea de una gran importancia al afectar a un factor ambiental que posea una gran calidad ambiental.

Un punto muy importante en la realización de la matriz consistirá en la discusión de los impactos más significativos, es decir aquellos cuyas filas y columnas estén señalados con las mayores calificaciones y aquellas celdas aisladas con números superiores.

Ciertas celdas pueden señalizarse, si se intuye que una condición extrema puede ocurrir, aunque su probabilidad sea baja.

La matriz de Leopold es "global", ya que cubre las características geobiofísicas y socioeconómicas, además de que el método incluye características físicas, químicas y biológicas.

Es importante considerar que el método no es "selectivo", no distingue, por ejemplo, entre efectos a corto y largo plazo. La propiedad de "mutuamente exclusivo" no está preservada, ya que hay la oportunidad de contar doble, siendo este un fallo de esta matriz y no de los métodos de matriz en general.

Se presenta a continuación una porción de la matriz de Leopold correspondiente al análisis realizado para este trabajo de graduación.

Tabla XXI. **Matriz de Leopold (porción de la matriz completa)**

Componente Ambiental	Actividades/Acciones del Proyecto				TOTAL Magnitud
	Modificación del régimen	Canalización	Irrigación	Reforestación	
Características físicas y químicas	+ 1 / + 5	+ 3 / + 5	+ 1 / + 5	+ 5 / + 5	+ 10
Condiciones biológicas	+ 5 / + 6	+ 2 / + 5	+ 5 / + 6	+ 5 / + 5	+ 17
Factores culturales	+ 5 / + 2	+ 2 / + 6	+ 5 / + 2	+ 5 / + 7	+ 17
Disponibilidad de agua superficial	+ 1 / + 5	+ 3 / + 5	+ 1 / + 5	+ 5 / + 5	+ 10
Calidad el paisaje	+ 5 / + 6	+ 2 / + 5	+ 5 / + 6	+ 5 / + 5	+ 17
Redes de servicios	+ 2 / + 2	+ 2 / + 6	+ 5 / + 2	+ 5 / + 7	+ 14
TOTAL Importancia	+ 26	+ 33	+ 26	+ 34	

Fuente: elaboración propia, proyección, Referencia, llenado de cada celda de la matriz.

5.3. Toma de decisiones

Esta etapa del proyecto es clave ya que después del resultado de la aplicación de la matriz Leopold, se deben analizar e interpretar los resultados tanto de las acciones que se van a realizar como de los factores ambientales que intervienen al momento de llevarse a cabo las actividades definidas. Después de revisar la porción de la matriz de Leopold, se puede concluir que tanto la magnitud como la importancia de los factores relevantes arriba presentados, representan un impacto positivo para el análisis de la implementación del sistema de captación propuesto en este trabajo de graduación.

5.3.1. Interpretación de resultados obtenidos

Al recopilar los resultados obtenidos de la matriz (ver tabla XV) y considerando tanto la magnitud como la importancia luego de la valoración, se puede observar lo siguiente:

- Acciones

Modificación del régimen: el proyecto incluye las actividades de irrigación y canalización, ambas por la manera en la que se realizarán, no representan un potencial impacto negativo al proyecto y al ambiente.

- Factores

Características físicas y químicas: aquí directamente hablándose refiere al agua y la actividad realizada al ser de tipo superficial no tiene un impacto importante y relevante.

Condiciones biológicas: en este factor puntualmente se está impactando la flora, específicamente a los árboles, arbustos y pastos. Por la calidad de agua que será utilizada en este factor, no se proyecta un efecto nocivo directo sobre la flora, incluso, proyecta un efecto positivo por el tema de la reforestación del área.

Factores culturales: este factor está directamente relacionado con las facilidades y actividades humanas. El enfoque es a una red de servicios, ya que el alcance del proyecto en este momento es suplir de agua al área de servicios generales y jardinería del centro educativo Solalto.

5.3.1.1. Análisis de puntos críticos

Los puntos críticos luego de la evaluación ambiental y de la aplicación de las herramientas antes descritas, permiten identificar los puntos críticos del sistema que deben ser mantenidos bajo control para que los efectos esperados tanto a nivel de captación como a nivel de impacto se mantengan en lo proyectado.

Luego de la revisión de lo planteado en la matriz, y en combinación con las listas de chequeo y la matriz de interacción, se puede mencionar como puntos críticos:

- Las condiciones biológicas, puntualmente el efecto proyectado sobre la utilización del agua pluvial en el sistema de riesgo de aboles, arbustos, etcétera; esto es la flora en general del área.
- Las características físicas y químicas del agua captada, esto a pesar de que el tratamiento que se le brindará al agua es primario únicamente, es considerado un punto crítico ya que eventualmente la propuesta es utilizarla también para cubrir los servicios generales en el centro educativo.
- La limpieza del sistema, tanto de los componentes más sencillos como del tanque de almacenamiento, para que el agua que será reutilizada cumpla con lo mínimo requerido para su uso.

6. SEGUIMIENTO O MEJORA

6.1. Auditorías de seguimiento

Auditoría se puede definir como el examen crítico y sistemático que realiza una persona o grupo de personas independientes a una actividad, programa o proyecto con el objeto de emitir una opinión independiente y competente, siempre enfocada al cumplimiento y verificación del desempeño del mismo.

En este trabajo de graduación, el tema de auditorías es importante ya que permitirá observar y determinar aquellos puntos que no están siendo cumplidos según la programación original y tomar medidas correctivas oportunamente.

6.1.1. Objetivo

El objetivo de realizar las auditorías de seguimiento es periódicamente revisar y monitorear las condiciones definidas en este trabajo de graduación. El enfoque se realizará tanto a las variables de diseño críticas como los volúmenes de consumo y de captación, así como en los puntos y elementos críticos definidos para la operación de este proyecto. Esto permitirá realizar cualquier ajuste o cambio que sea necesario para que el funcionamiento y operación del sistema sea el óptimo.

6.1.2. Metodología por utilizar

La metodología se basa en revisiones periódicas que realizará el encargado de mantenimiento de la escuela, básicamente se enfocará y se apoyará en hojas de verificación conteniendo la información y puntos críticos que deberán ser monitoreados. La revisión deberá incluir todos los puntos definidos como críticos dentro del proyecto, para el efecto se contará con la información inicial base para el diseño del sistema de captación.

Al final de cada revisión y auditoría, se debe emitir un informe que resuma lo encontrado y que se compare contra las variables y parámetros iniciales para detectar diferencias y brechas entre lo real y lo calculado.

Los informes deberán ser entregados al director de la escuela, para que sean discutidos con los miembros del consejo y que de esta forma se mantengan informados de la operación del sistema y que puedan monitorear directamente los beneficios que se obtendrán y poder de igual forma, realizar cualquier ajuste que consideren necesario.

6.1.3. Hojas de verificación

La hoja de verificación es la herramienta que se utilizará para reunir datos basados en la observación del comportamiento de las variables críticas del proyecto con el fin de detectar tendencias. Esto se realizará a través de la captura, análisis y control de información relativa a la operación.

Básicamente es un formato diseñado que facilita que la persona designada pueda tomar datos en una forma ordenada y de acuerdo con el estándar requerido en el análisis que se esté realizando.

Las hojas de verificación también conocidas como de comprobación o de chequeo organizan los datos de manera que puedan usarse con facilidad más adelante.

6.1.4. Periodicidad de las auditorías

Las revisiones se realizarán con una frecuencia mensual, se realizará una auditoría cada seis (6) meses que incluirá adicionalmente una sección que incluye el tema de mantenimiento de los accesorios y componentes críticos del sistema.

6.2. Condiciones higiénicas

Se recomienda que la primera lluvia de la temporada se deje pasar sin ser recolectada por dos razones: la primera es que esta lluvia puede arrastrar de la atmósfera particular retenidas ahí por mucho tiempo, y la segunda porque esta lluvia ayuda a limpiar la superficie de polvo y otras partículas, que no fueron retiradas por el barrido o limpieza previa.

Adicionalmente, si es necesario mantener condiciones higiénicas mínimas en los componentes y partes importantes del sistema de captación, esto implica limpieza en dichas áreas

6.2.1. Limpieza en áreas

Gran parte el éxito de captar lluvia consiste en medidas de limpieza y mantenimiento de parte del beneficiario a su sistema, este comienza con la revisión de todos los componentes del sistema desde el área de captación o techo, hasta los contenedores del agua, pasando por las canaletas, tuberías, y tanques.

Luego será necesario limpiar todos los componentes del sistema de captación, esto incluye barrerlos, lavarlos, repararlos o sustituirlos si este fuera el caso. Igualmente deben retirarse los materiales que puedan obstruir y los que puedan alterar la calidad del agua, sobre todo, en las áreas de captación y las canaletas que durante un buen tiempo no han recibido la lluvia y que lo más seguro es que se llenen de polvo, hojas de árboles u otros materiales.

6.2.1.1. Canaletas

Las canaletas son un componente importante del sistema de captación del sistema, es necesario monitorear periódicamente que el agua fluya sin problemas reparando posibles daños en ellas.

También se deberá revisar que no tengan grietas o filtraciones, para evitar pérdidas de agua importantes.

6.2.1.2. Depósitos de agua pluvial

Revisar periódicamente los pre-filtros (mallas o coladeras que retienen hojas y sólidos mayores), limpiar o cambiar los filtros para el tratamiento del agua, con la regularidad que el fabricante propone, o la que requiera según las condiciones y la experiencia particulares. Monitorear los niveles de agua del tanque.

Lavar al menos cada año el tinaco y la cisterna, de preferencia antes de la temporada de lluvia. Es importante que el rebosadero del tanque de almacenamiento siempre esté protegido contra la contaminación que puede entrar del drenaje. Revisar el funcionamiento de las válvulas *check* y/o trampas para evitar problemas de contaminación

6.2.2. Ductería adecuada de diseño

La ductería es otro de los puntos que deben ser considerados a efecto de la auditoría o revisión que se realice periódicamente, cobra especial importancia durante el inicio de la época de lluvia ya que es cuando por la ubicación geográfica del proyecto, se acumularán más desechos sólidos que pueden interferir con la operación normal del sistema de captación.

6.2.2.1. Entrada

La limpieza en este componente es importante ya que pasa a ser uno de los lugares en donde el proceso de captación da inicio. Se recomienda una supervisión mensual a estos componentes, básicamente observar y remover cualquier hoja, basura, etcétera que pueda obstaculizar el paso, esto antes de la temporada de lluvia.

6.2.2.2. Salida

Al igual que la ductería de entrada, este componente es importante ya que, de no realizar adecuada y efectivamente la limpieza del componente en la entrada, muy probablemente la basura o desechos bloquearán parcial o totalmente el paso del agua captada a través del sistema. Esto ocasionaría complicaciones en el sistema y puntualmente en una baja de presión del agua que será enviada a través de la bomba a las instalaciones del centro educativo Solalto.

6.3. Estadísticas

Es importante realizar una proyección del consumo de agua potable y pluvial, esta es la base para el análisis de consumo que se realiza más adelante. Para el efecto, se consideró la estadística de consumo histórica que ha tenido el centro educativo Solalto durante los últimos tres años, estas estadísticas son la base de los índices que se presentan a continuación.

6.3.1. Índices de consumo

El índice de consumo es un número, una medida estadística que se calcula sobre antecedentes o historial de consumo, en este caso de agua potable y pluvial, en un determinado período. En este trabajo de graduación, los índices de consumo son proyectados considerando históricamente las cantidades en metros cúbicos que han sido utilizadas, tanto para el agua de consumo humano como el agua que es utilizada en actividades de riego, y de limpieza.

En los numerales siguientes, se detalla el consumo de agua potable y pluvial para un cuatrimestre. Es importante mencionar que los valores ahí utilizados fueron tomados de reportes de consumo de años anteriores, fueron analizados y se tomó un valor representativo para cada mes.

6.3.1.1. Agua potable

A continuación, se presenta la proyección cuatrimestral de consumo de agua potable en el centro educativo Solalto. La gráfica correspondiente a estos índices se presenta en el numeral 6.3.2.1.

Tabla XXII. Consumo de agua potable

Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Consumo (m ³)	43	40	42	45

Fuente: proyección con base en datos históricos de consumo, elaboración propia.

6.3.1.2. Agua pluvial

A continuación, se presenta la proyección cuatrimestral de consumo de agua pluvial en el centro educativo Solalto. La gráfica correspondiente a estos índices se presenta en el numeral 6.3.2.1.

Tabla XXIII. Consumo de agua pluvial

Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Consumo (m ³)	12	14	11	11

Fuente: proyección con base em datos históricos de consumo, elaboración propia.

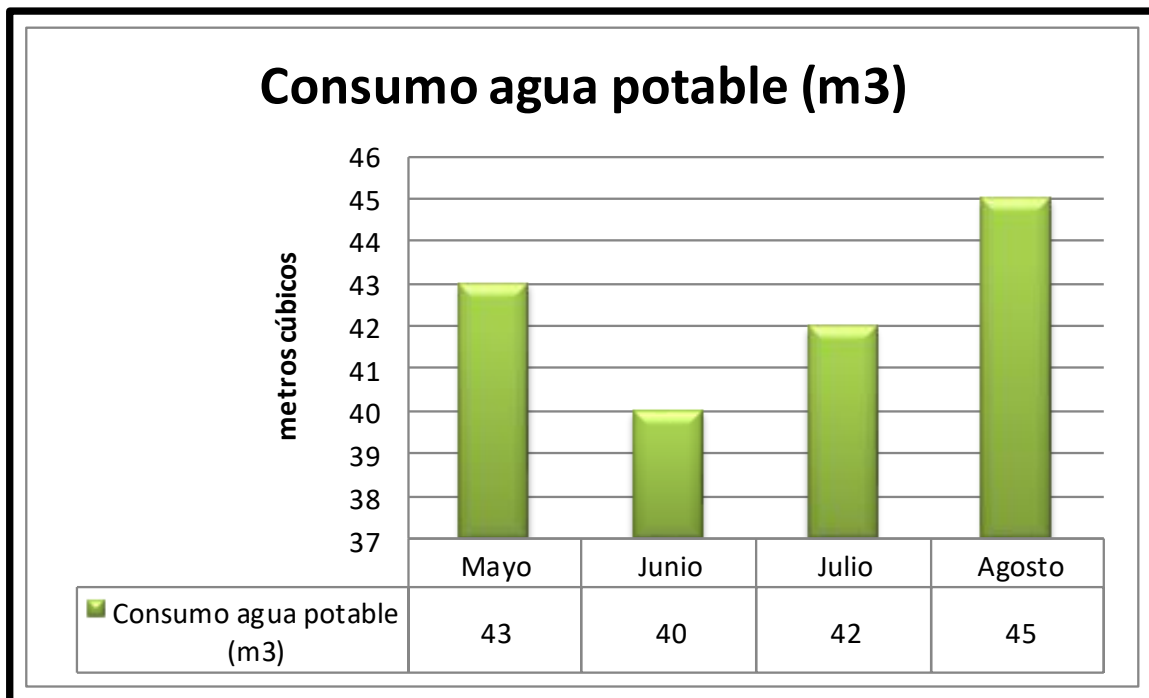
6.3.2. Gráficas de consumo

A continuación, se presentan en un gráfico el consumo de agua potable y de agua pluvial que se mencionaron en los numerales 6.3.1.1 y 6.3.1.2 respectivamente. Hay que considerar como se indicó anteriormente, que las gráficas corresponden al cuatrimestre de mayo a agosto.

6.3.2.1. Agua potable

Consumo de agua potable dentro de las instalaciones educativas en los meses de mayo a agosto, esto para determinar la demanda.

Figura 36. Gráfica consumo de agua potable.

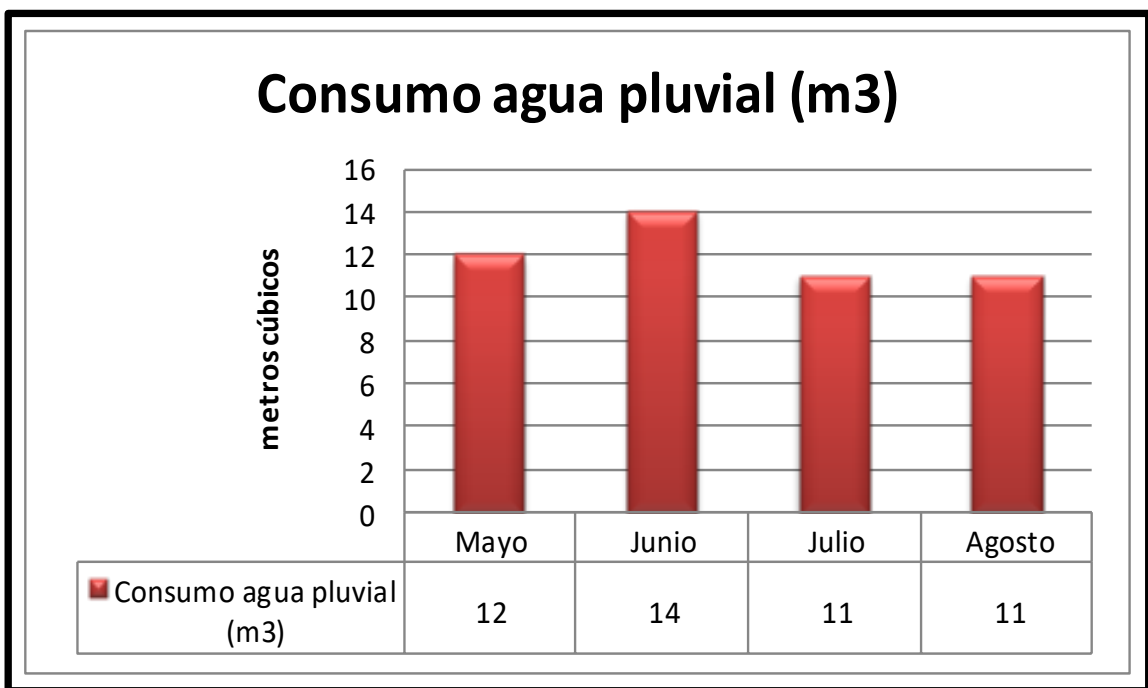


Fuente: elaboración propia.

6.3.2.2. Agua pluvial

Captación de agua pluvial dentro de las instalaciones educativas en los meses de mayo a agosto, esto para determinar la oferta.

Figura 37. Gráfica consumo de agua pluvial



Fuente: proyección, elaboración propia.

6.3.3. Análisis de consumo

Se puede apreciar en las gráficas de consumo que la cantidad de agua potable consumida es mucho mayor que la cantidad de agua pluvial. Al analizar a fondo el detalle de cada tipo de consumo, se puede observar que la cantidad de agua potable utilizada puede eventualmente ser reducida considerablemente,

tomando en cuenta que muchas de las actividades en las que se utiliza agua potable, incluyen jardinería, servicios generales.

6.4. Resultados

Los resultados obtenidos de la proyección realizada permiten observar una reducción considerable del consumo de agua potable, esto se debe a que en la medida que se realice la captación de agua pluvial, el consumo total se ve reducido en cantidad, permitiendo así un ahorro potencial al centro educativo Solalto. Actualmente el dato de consumo de agua potable, como se menciona en el numeral anterior, incluye lo que se utiliza para servicios generales y jardinería.

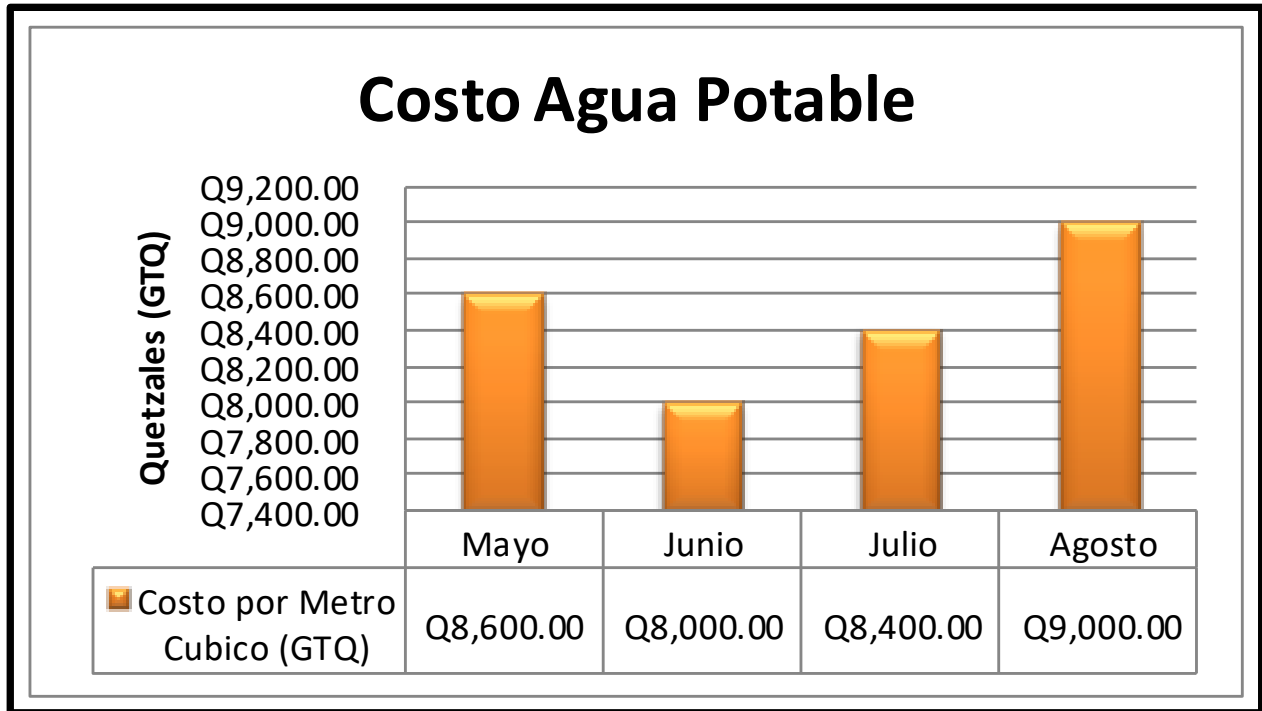
6.4.1. Gráfica de costos

A continuación, se pueden observar las gráficas de costos, tanto para el agua potable como para el agua pluvial, tomando como base la proyección de consumo y el valor por metro cúbico (m^3) actualmente se está pagando por el agua potable. El costo por m^3 agua potable que se compra es de Q. 200,00 (IVA incluido).

6.4.1.1. Agua potable

La gráfica que se presenta a continuación representa el valor monetario del consumo en metros cúbicos de cada uno de los meses del cuatrimestre analizado multiplicado por el costo por metro cúbico de agua potable promedio que se ha venido comprando, este es de Q.200,00, IVA incluido.

Figura 38. Gráfica costo mensual de agua potable



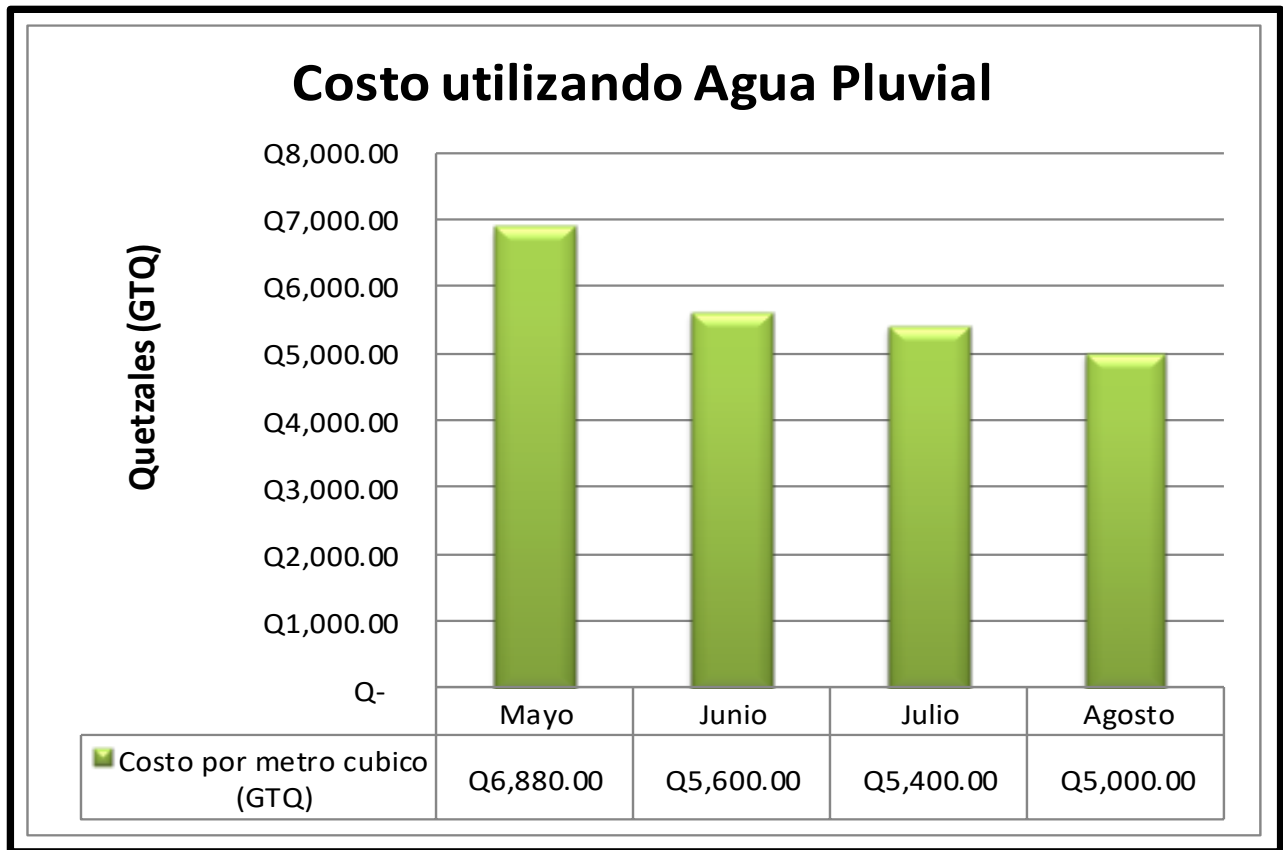
Fuente: proyección, elaboración propia.

6.4.1.2. Agua pluvial

La gráfica que se presenta a continuación representa el costo mensual en unidades monetarias, pero ya considerando el uso de agua pluvial, esto básicamente es lo que servirá de base para el cálculo posterior del ahorro, proyectado mensualmente, que se obtendrá con este proyecto.

Uno de los objetivos de este trabajo de graduación es obtener un ahorro de tipo económico al utilizar agua pluvial para realizar algunas actividades en donde actualmente se emplea agua potable.

Figura 39. Gráfica costo mensual utilizando agua pluvial



Fuente: proyección, elaboración propia.

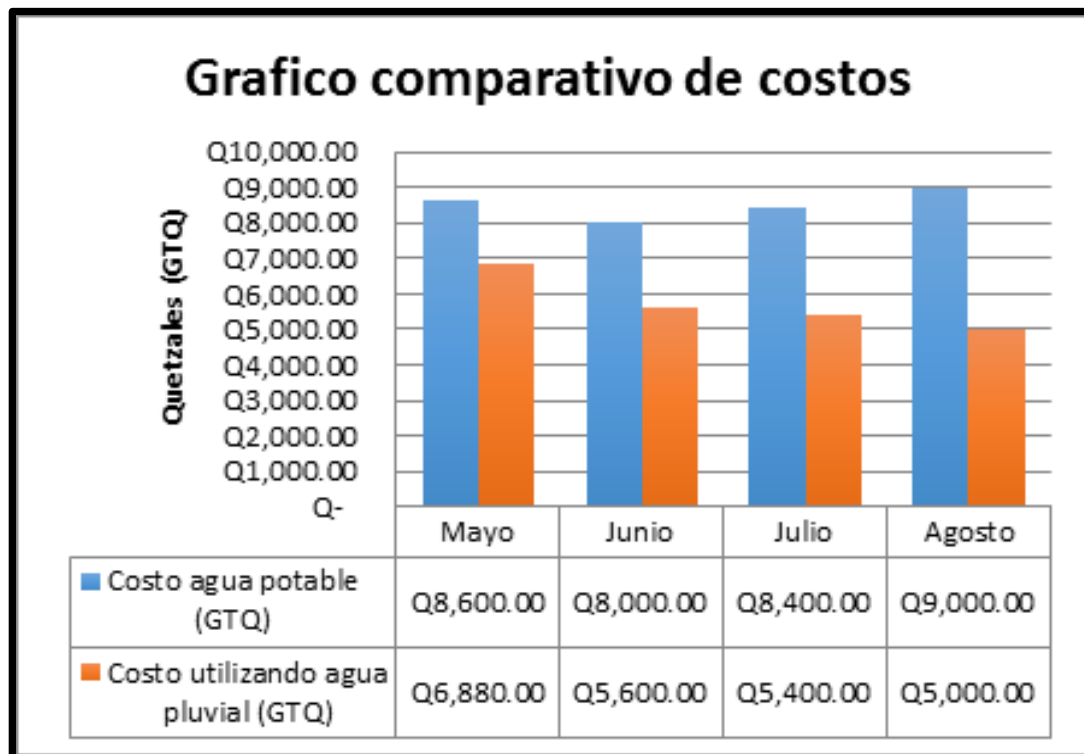
Por ejemplo, si se analizan los resultados obtenidos en mayo, para la gráfica No.36 (Q.8 600,00) y se compara con el mismo mes de la gráfica No.37 (Q.6 880,00), se aprecia que en la segunda se observa una cantidad menor.

La interpretación es que la diferencia entre ambos valores equivale al ahorro potencial que se obtendrá al utilizar y reemplazar esos metros cúbicos de agua potable por agua recolectada por medio del sistema de captación. En este caso puntual, la diferencia equivale a Q. 1 720,00 durante mayo.

6.4.2. Gráfica de comparación

Se pretende realizar una comparación del costo antes y posterior al proyecto para observar la posible puesta en marcha del diseño de captación de agua pluvial dentro del centro escolar.

Figura 40. Gráfica costo mensual comparativo



Fuente: elaboración propia, proyección.

6.4.3. Análisis de costos

Es importante mencionar que el porcentaje de ahorro proyectado por mes puede variar desde un 20 % (mínimo) hasta un 40 % (máximo) de ahorro, esto es influido directamente por las condiciones climáticas y el comportamiento de la población del centro educativo. Definitivamente la proyección para el último cuatrimestre del año debe representar una reducción en el consumo de agua potable y si se proyecta el mismo rango de porcentaje de ahorro, si resulta interesante y factible financieramente el proyecto que se presenta en este trabajo de graduación.

Para este trabajo se realizó un análisis financiero de flujo de caja, en donde básicamente se proyectaron los ingresos y egresos durante cada mes, para determinar el flujo neto de fondos que permitiera tomar la decisión sobre la factibilidad del proyecto. El análisis presenta un flujo negativo en el mes en donde se debe realizar el desembolso del equipo y costos directos detallados en las tablas IX y XI respectivamente.

CONCLUSIONES

1. Con la implementación del sistema de recaudación de agua pluvial propuesto se obtiene un ahorro en el gasto mensual destinado a la compra de agua potable de entre un veinte (20) y un cuarenta (40) por ciento.
2. El sistema de recaudación de agua propuesto con el tanque principal de almacenamiento y el tanque secundario tiene la capacidad de cubrir la demanda de la institución, específicamente para los servicios generales requeridos para la operación, tanto en época de verano como de invierno.
3. Se utiliza la técnica de modelado con bloques funcionales para la función de transferencia del proceso del control de nivel y caudal del agua en el sistema.
4. La evaluación de impacto ambiental se realizó utilizando la matriz Leopold y mediante el resultado se concluye que el sistema de recaudación de agua pluvial no genera un impacto negativo a nivel ambiental, de hecho el impacto ambiental es de tipo positivo.
5. El consumo de agua pluvial representa entre el 25 y 35 % del volumen total en metros cúbicos, consumidos por cada mes en el centro educativo Solalto. Mediante la implementación del sistema se puede ahorrar entre un 20 y un 40 % del costo actual que se paga por utilizar agua potable para servicios generales.

RECOMENDACIONES

1. Cumplir con las auditorías según la programación propuesta para obtener retroalimentación oportuna sobre el desempeño y resultados del sistema propuesto en este trabajo de graduación.
2. Cumplir con el programa de mantenimiento preventivo que permita realizar las actividades de limpieza a los componentes del sistema, para que pueda obtenerse el resultado deseado en cuanto al manejo de niveles de agua y caudal proporcionado para servicios generales del centro escolar.
3. Impulsar el proyecto por medio de charlas a los alumnos para sensibilizarlos sobre el uso y aprovechamiento de los recursos naturales.
4. Motivar al departamento de mantenimiento para el cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo, de tal forma que mediante indicadores de desempeño se pueda medir la efectividad y resultados obtenidos del programa y del sistema.
5. Utilizar este proyecto como punto de referencia para replicarlo a otros centros educativos de la región, considerando los beneficios que conlleva y el ahorro potencial que puede obtenerse a través de un sistema como el planteado en este trabajo de graduación.

BIBLIOGRAFÍA

1. “Captación y almacenamiento de agua de lluvia” [en línea] <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/captacion_agua_de_lluvia.pdf> [Consulta: 17 junio 2016].
2. Clima Fraijanes, Climate.org, [en línea] <<https://www.es.climate-data.org/location/873460>>. [Fecha de consulta: 04 de julio de 2015].
3. LEOPOLD, L. B., F. E. Clarke, B. B. Hanshaw, and J. E. Balsley. 1971. A procedure for evaluating environmental impact. U.S. Geological Survey Circular 645, Washington, D.C. 109 p
4. Libro Química General I. McGraw Hill. Tabla de peso específico, 1998. 941p.
5. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo II: Experiencias en América Latina y el Caribe FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación., Santiago, 2000. 235p.
6. Manual Mantenimiento e Instalación Tinacos Equipados Rotoplas, s.l.s.e. Edición, 2013. 15p.

7. Reflexiones sobre logística [en línea].
<http://www.upct.es/~gio/conceptos_fundamentales.htm>.
[Consulta: 22 junio 2016].
8. Tutorial de Ingeniería Mecánica, sección 21, [en línea]
<<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn206.html#seccion21>>. [Fecha de consulta: 25 de enero de 2016].
9. UMAÑA, Luis Alfredo. Revista ingeniería y arquitectura, modelo de control de nivel y caudal en un tanque de almacenamiento cilíndrico, noviembre 2013. 126p.

APÉNDICES

Norma NRD3 de la Coordinadora Nacional de Desastres, CONRED y
COGUANOR <http://conred.gob.gt/www/normas/NRD3/NTG41054.pdf>

