

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

Diseño de un Sistema de Captación y Utilización de Aguas Lluvias para  
Uso Residencial Utilizando Tanques por Rotomoldeo.

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Kleber Henry Sánchez Loor

Diego Alejandro Vera Cortez

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2022

## DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a Dios, a mis padres, a mi hermana, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL por abrirme sus puertas y a mi compañero de materia integradora, Diego Vera, por su apoyo durante el desarrollo de este documento.

Kleber Sánchez

El presente proyecto se lo dedico a la Escuela Superior Politécnica del Litoral y a mi compañero de materia Integradora Kleber Sánchez.

Diego Vera

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la oportunidad de ser parte de esta vida, a mis padres por enseñarme el camino que debo seguir, a mi hermana por brindarme su apoyo como exalumna, a mis profesores por todo su conocimiento impartido durante estos años, y en especial al Ing. Federico Camacho y a la Ing. Andrea Boero por ser parte importante de este proceso.

Kleber Sánchez

Mi más sincero agradecimiento a mi mamá, mi papa y a mi hermano por su apoyo en mis estudios y a mis mascotas por acompañarme todos estos años de mi vida. Al Ing. Federico Camacho y a la Ing. Andrea Boero por ayudarnos con este trabajo y a todos los profesores de ESPOLE que han sido parte de mi carrera.

Diego Vera

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Kleber Sánchez y Diego Vera y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Kleber Henry  
Sánchez Loor



Diego Alejandro  
Vera Cortez

## EVALUADORES

---

**MSc. Andrea Boero V.**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**MSc. Federico Camacho B.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El presente proyecto plantea el desarrollo de un sistema de captación y utilización de aguas lluvias para uso residencial con el objetivo de reducir los costos de facturación anual y permitir un mejor manejo de este recurso, sobre todo, en actividades secundarias de limpieza. Para ello, se busca reemplazar el agua potable por agua de lluvias. Siguiendo los lineamientos de normas técnicas referentes al uso eficiente del agua y a fuentes de información para el manejo y aprovechamiento de aguas lluvias, se siguió un método para la elaboración de un sistema de captación aplicado a una casa modelo. En él participaron factores importantes como: índice de precipitación anual, área de captación, primera descarga, entre otros. Adicional, se determinó la capacidad mínima del tanque durante el mes mediante el consumo de agua en actividades secundarias y litros de agua en botellones empleados para beber ya que, esta última no es recomendable realizarla directamente desde llave por la insalubridad de las tuberías. Se logró una reducción de 3700 litros de agua al mes empleando el sistema durante 5 meses del año, equivalentes a USD \$ 4.88 menos por planilla. Finalmente, se obtuvo un ahorro total de USD \$ 343.05 considerando además el consumo de botellones de agua al año frente a una inversión de USD \$ 1192.25. En conclusión, con los valores presentados se valida la factibilidad del proyecto y se logra obtener un sistema que permite reemplazar el agua potable por agua de lluvias generando un ahorro económico en el hogar.

**Palabras Clave: Sistemas de captación, Aguas lluvias, Actividades secundarias, Consumo de agua.**

## **ABSTRACT**

*This project proposes the development of a rainwater capture and utilization system for residential use with the objective of reducing annual billing costs and allowing better management of this resource, especially in secondary cleaning activities. The aim is to replace potable water with rainwater. Following the guidelines of technical norms regarding the efficient use of water and information sources for the management and use of rainwater, a method was developed for the elaboration of a catchment system applied to a model house. Important factors such as: annual rainfall index, catchment surface, first flush, among others, were involved. In addition, the minimum capacity of the tank during the month was determined through the consumption of water in secondary activities and liters of water in bottles used for drinking, since it is not advisable to drink water directly from the faucet due to the unhealthiness of the pipes. A reduction of 3,700 liters of water per month was achieved by using the system for 5 months of the year, equivalent to US\$ 4.88 less per payroll. Finally, a total saving of USD \$ 343.05 was obtained, also considering the consumption of water bottles per year compared to an investment of USD \$ 1192.25. In conclusion, the values presented validate the feasibility of the project and make it possible to obtain a system that replaces drinking water with rainwater, generating economic relief for the household.*

*Keywords: Catchment systems, Rainwater, Secondary activities, Water consumption.*

# ÍNDICE GENERAL

ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIV
CAPÍTULO 1 .....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del problema .....	2
1.2. Justificación del proyecto.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General .....	3
1.3.2. Objetivos Específico.....	3
1.4. Marco Teórico.....	4
1.4.1. índice de precipitaciones de ecuador en comparación al nivel mundial. 4	
1.4.2. índice de precipitación en las provincias del Ecuador.....	4
1.4.3. Sistema de Captación de Aguas Lluvias .....	4
1.4.4. Componentes de un Sistema de Captación de Aguas Lluvias.....	5
1.4.5. Depósitos para almacenamiento de agua lluvia .....	6
1.4.6. Calidad del agua para su consumo .....	7

1.4.7.	Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) .....	7
1.4.8.	Otros elementos en las aguas lluvia .....	7
1.4.9.	Disminución de los valores de NTU para un consumo seguro.....	7
1.4.10.	Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	8
CAPÍTULO 2 .....		9
2.	Metodología.....	9
2.1.	Proceso de diseño .....	9
2.2.	Normas Empleadas .....	10
2.3.	Factores del Sistema .....	10
2.3.1.	Índice de precipitación anual de la zona.....	10
2.3.2.	Área de captación .....	10
2.3.3.	Distribución del consumo de agua.....	12
2.3.4.	Área disponible de instalación .....	13
2.4.	Diseño del Sistema de Captación .....	15
2.4.1.	Determinación del área de captación .....	15
2.4.2.	Cálculos del potencial de recolección de aguas lluvias .....	16
2.4.3.	Cálculos de primera descarga .....	17
2.4.4.	Determinación de la capacidad del tanque .....	18
2.5.	Matriz de decisión.....	19
2.5.1.	Factores de Interés .....	19
2.5.2.	Alternativas de solución.....	20

2.5.3.	Matriz .....	21
2.6.	Determinación del espesor en las paredes del tanque .....	21
2.7.	Esfuerzos y deformaciones.....	22
2.8.	Sistema de purificación.....	24
2.8.1.	Instalación del Sistema de Purificación .....	25
2.8.2.	Cálculo de potencia para la bomba sumergible .....	26
CAPÍTULO 3	.....	29
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	29
3.1.	Resultados obtenidos .....	29
3.2.	Análisis de elementos finitos.....	29
3.3.	Costos de Implementación.....	33
3.3.1.	Costo inicial del sistema .....	33
3.3.2.	Costo de mantenimiento.....	34
3.4.	Análisis de Viabilidad .....	35
3.4.1.	Beneficio económico en ahorro de botellones .....	35
3.4.2.	Beneficio económico en ahorro de planilla de agua.....	35
3.4.3.	Cálculo del TIR y el VAN.....	37
3.5.	Factibilidad del proyecto a nivel nacional .....	38
3.6.	Proceso de Producción por Rotomoldeo del Tanque .....	39
CAPÍTULO 4	.....	42
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	42

4.1.	Conclusiones .....	42
4.2.	Recomendaciones .....	44

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICE

## ABREVIATURAS

BNA	Beneficio Neto Actualizado
CEM	Contribución Especial de Mejoras
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
GDWQ	<i>Guidelines for drinking-water quality</i> (Directrices para la calidad del agua para consumo humano)
GLP	Gas Licuado de Petróleo
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
INOCAR	Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada
NTU	Unidad Nefelométrica de Turbidez
ODS	Objetivos de Desarrollos Sostenible
OMS	Organización Mundial de la Salud
TIR	Tasa Interna de Retorno
USD	United States Dollar (dólares americanos)
PVC	Policloruro de Vinilo
VAN	Valor Actual Neto

# SIMBOLOGÍA

$V$	Potencial de recolección
$R$	Cantidad de precipitaciones
$A$	Área de recolección horizontal
$k$	Factor de conversión requerido para llevar la medición a litros
$e$	Eficiencia de recolección de la superficie
$V_{ff}$	Volumen de primera descarga
$\lambda$	Decaimiento exponencial
$P_{m\acute{a}x}$	Presión en el fondo del tanque
$P_o$	Presión en la superficie libre del líquido
$\rho$	Densidad del agua
$g$	Aceleración de la gravedad
$h$	Altura de nivel de líquido
$\sigma_t$	Esfuerzo tangencial
$r$	Radio interior del tanque
$t$	Espesor de pared
$n$	Factor de seguridad
$S_y$	Esfuerzo de fluencia del material
$P_1$	Presión en el fondo del tanque
$V_1$	Velocidad del fluido en el fondo del tanque
$Z_1$	Altura geométrica inicial del fluido
$h_b$	Carga de trabajo de la bomba
$h_L$	Perdidas por fricción en tuberías y accesorios
$P_2$	Presión a la entrada del filtro
$V_2$	Velocidad a la entrada del filtro
$Z_2$	Altura geométrica al nivel de la entrada del filtro
$P_{hid}$	Potencia hidráulica de la bomba
$Q$	Caudal de la tubería

$\eta$	Eficiencia del motor
$P_{\text{motor}}$	Potencia del eje de motor de la bomba
$D_f$	Diámetro final
$D_i$	Diámetro inicial
$\Delta r$	Variación de radio
$\Delta D$	Diferencia de circunferencia
$f$	factor de fricción de la tubería
$L_{\text{eq. tub}}$	Longitud equivalente de la tubería
$L_{\text{eq. acc}}$	Longitud equivalente de accesorios
$V$	Velocidad del fluido dentro de la tubería
$Re$	Numero de Reynolds
$\varepsilon$	Rugosidad
$\nu$	Viscosidad cinemática del agua
$M_{\text{pe}}$	Masa de polietileno a utilizar
$A_{\text{int}}$	Área de la superficie interior del molde
$t_{\text{pe}}$	Espesor del tanque
$\rho_{\text{pe}}$	Densidad del material
$V_{\text{pe}}$	Volumen del tanque obtenido a través del software
$\omega_{\text{mayor}}$	Velocidad angular del eje mayor
$\omega_{\text{menor}}$	Velocidad angular del eje menor
$I$	Valor de inversión inicial
$r$	Tasa de interés sobre el proyecto
$i$	Periodo de tiempo
W	Watts
Pa	Pascal
HP	Caballos de fuerza
m	Metro
mm	Milímetro
L	Litro

$m^3$	Metro cubico
$m^2$	Metro cuadrado
\$	Dólares
%	Porcentaje
kg	Kilo gramo
rpm	Revoluciones por minuto

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diferencia entre superficie de recolección y área de captura (Adaptado de: Grafman, 2017). .....	5
Figura 1.2 Principio de funcionamiento de la primera descarga. (Adaptado de: Grafman, 2017). .....	6
Figura 1.3 Diagrama de ODS y metas que se esperan cumplir. (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2015). .....	8
Figura 2.1 Diagrama del proceso de diseño. ....	9
Figura 2.2 Ubicación geográfica de la vivienda modelo. ....	11
Figura 2.3 Identificación de la vivienda modelo. ....	11
Figura 2.4 Secciones de techo de la vivienda modelo .....	12
Figura 2.5 Área de instalación del sistema. ....	14
Figura 2.6 Dimensiones del área de instalación. ....	14
Figura 2.7 Áreas de captación (naranja). .....	15
Figura 2.8 Representación de fuerzas que actúan sobre el tanque. ....	22
Figura 2.9 Distribución de la presión en el interior del tanque. ....	22
Figura 2.10 Etapas del Sistema de Purificación. ....	24
Figura 2.11 Esquema de conexiones para el filtro de cinco etapas y representación de cada uno de los filtros. ....	25
Figura 2.12 Configuración de conexiones para meses de lluvia y secos. ....	26
Figura 2.13 Recorrido de tuberías para el sistema de purificación. ....	26
Figura 2.14 Instalación de la bomba sumergible dentro del tanque. ....	27

Figura 3.1 Análisis de elementos finitos del tanque en ANSYS® (deformación total) ...	30
Figura 3.2 Análisis de elementos finitos del tanque en ANSYS® (deformación eje x) ..	30
Figura 3.3 Análisis de elementos finitos del tanque en ANSYS® (deformación eje y) ..	31
Figura 3.4 Análisis de elementos finitos del tanque en ANSYS® (factor de seguridad)	31
Figura 3.5 Representación de la deformación máxima del tanque. ....	32
Figura 3.6 Mapa de zonas factibles para el proyecto para condiciones similares a la casa modelo. (Adaptado de: Espinosa, 2021).....	38
Figura 3.7 Etapas del proceso de rotomoldeo. (Adaptado de: Beltrán y Marcilla, 2012) .....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Consumo de agua mensual para familia de cuatro personas .....	12
Tabla 2.2 Detalle de actividades de consumo mensual de agua en la vivienda modelo. .....	13
Tabla 2.3 Potencial de recolección para todos los meses del año.....	16
Tabla 2.4 Volumen de agua que deberá proveer el tanque al mes.....	18
Tabla 2.5 Alternativas de sistema de almacenamiento.....	20
Tabla 2.6 Matriz de decisión para la selección del tanque.....	21
Tabla 2.7 Tabla de dimensiones de los tanques de agua (IS 12701:1996).....	21
Tabla 3.1 Resultados de parámetros trascendentales del proyecto.....	29
Tabla 3.2 Costos generales del sistema.....	33
Tabla 3.3 Costos de refacciones para el mantenimiento del sistema. ....	34
Tabla 3.4 Facturación de planilla de agua sin uso del sistema de captación de aguas lucias.....	36
Tabla 3.5 Facturación de planilla de agua empleando el sistema de captación de aguas lucias.....	36
Tabla 3.6 Análisis de la inversión anual.....	37
Tabla 3.7 Requerimientos básicos para la producción de tanques por rotomoldeo .....	40
Tabla 3.8 Comparación de varios procesos de fabricación de plásticos (Fuente: Crawford y Kearns. 2003).....	41

## **ÍNDICE DE PLANOS**

Plano 1 Planos de la vivienda parte 1 (COCOI S.A., 2012)

Plano 2 Planos de la vivienda parte 1 (COCOI S.A., 2012)

Plano 3 Planos de sistema 1 de 5 (Ubicación)

Plano 4 Planos del sistema 2 de 5

Plano 5 Planos del sistema 3 de 5

Plano 6 Planos del sistema 4 de 5

Plano 7 Planos del sistema 5 de 5

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo propone el diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias de uso residencial con el objetivo de lograr un manejo eficiente de agua en el desarrollo de actividades secundarias de limpieza de hogar y, generar ahorros en el consumo anual de botellones de agua.

En el capítulo 1 se dará a conocer información acerca de la intensidad y frecuencia de lluvias anual de distintas regiones del país que permitan identificar las zonas más factibles para la implementación del proyecto y, además, se presentarán los componentes básicos que intervienen en un sistema de captación y utilización de aguas lluvias.

En el capítulo 2, se presenta la metodología de diseño utilizada para llevar a cabo el proyecto. En ella se consideran variables como el índice de precipitación anual de la zona, área de captación, potencial de recolección, sistema de filtrado, purificación, y otros. En este capítulo se considera una vivienda modelo donde se detallan los gastos de consumo de agua mensual por actividades secundarias y botellones de agua para establecer la capacidad mínima del tanque. Así mismo, se realiza la selección y análisis por medio de elementos finitos de presión hidrostática al tanque y selección de bomba para el sistema de purificación.

En el capítulo 3 se presentan los resultados y análisis del proyecto, incluyendo costos de implementación, análisis de viabilidad y beneficio económico del sistema. En este mismo capítulo también se presenta el análisis del proceso de producción por rotomoldeo del tanque ya que se pretende que más personas y empresas se sumen a la fabricación y comercialización de estos tipos de tanques muy útiles en aplicaciones sostenibles como el presente proyecto.

En el capítulo 4 se describen las conclusiones y recomendaciones del proyecto, entre ellas se menciona la factibilidad del proyecto para uso residencial, así como sus principales beneficios económico.

## **1.1. Descripción del problema**

Un artículo publicado por la periodista ambiental, Alarcón (2018), revela que, la tasa de consumo de agua de un ecuatoriano promedio ronda alrededor de 250 litros al día. Sin embargo, la autora además menciona que la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece únicamente 100 litros de agua por persona al día para cubrir con las necesidades básicas de consumo e higiene. Así pues, el consumo de agua actual de un ecuatoriano poco más o menos triplica este valor, llevándolo a ser incluso 40% mayor al promedio de la región (Sorgato, 2015).

Se sabe incluso que, en algunas provincias del país, las familias consumen más de 30 m<sup>3</sup> de agua al mes (Alarcón, 2018), lo que produce costos mensuales significativos por el uso de este recurso. Sin embargo, gran parte de este consumo se debe por una mala gestión de este recurso en actividades secundarias tales como, limpieza de autos, riego del jardín, limpieza del hogar, lavado de pisos, y otras.

Adicionalmente se sabe que, en algunas ciudades del país, muchas personas tienen el recelo de consumir el agua directamente de la llave para beber, aun cuando las instituciones encargadas de brindar el suministro de agua potable a la casas aseguren que esta cumple con todos los estándares y sellos de calidad de organismos nacionales e internacionales que garantizan un consumo directo sin problemas, por lo cual acuden a otros métodos convencionales para el consumo de este recurso, por ejemplo, hirviendo primero el agua o mediante el uso de agua embotellada (El Universo, 2020). Esto implica que, mensualmente se gasten decenas de dólares por consumo de agua para beber por medio de botellones. Esto se traduce de igual forma en un gasto importante para la economía familiar.

Aun cuando Ecuador cuenta con uno de los más altos niveles de precipitación de la región, estas no son vistas como recurso para suplir este tipo de actividades, principalmente, durante los meses de lluvia.

## **1.2. Justificación del proyecto**

En Guayaquil, el gasto promedio mensual es de USD \$ 13.84 por consumo de agua potable, infiriéndose así que, las familias guayaquileñas dedican en promedio el 1.10%

de sus ingresos mensuales (Defensoría del pueblo, 2016). La tabla que permite determinar los valores de facturación por consumo de agua en la ciudad de Guayaquil se muestra en el Apéndice A.1.

A este monto se le añade el costo de botellones de agua que se emplean para beber semanalmente. Debido a una encuesta realizada las familias de Guayaquil utilizan entre 2 y 3 botellones de agua por semana a un costo promedio de USD \$ 2.68 cada uno. Estos botellones tienen 20 litros de capacidad y deben ser reemplazados por uno nuevo periódicamente. Esto representa un costo extra aproximado de USD \$ 32 al mes para las familias por consumo de agua en botellones. (Ver Apéndice B)

El uso de contenedores para recolectar y almacenar agua de lluvia es una buena alternativa para aprovechar este recurso, optimizando el consumo y gestión del agua, a la que vez que reduce los costos de consumo, principalmente, durante los meses de lluvia. Para esto, un tanque cisterna se considera parte fundamental de la solución. Sin embargo, para almacenar agua de lluvia mediante un tanque cisterna, es necesario habilitar un gran espacio y, en algunos casos, se requiere un costoso trabajo de ingeniería civil.

Por esta razón, el diseño de un sistema de captación de aguas lluvias por medio de tanques plásticos por rotomoldeo propone ser una solución sustentable, simple y efectiva que permite disminuir el consumo de agua y generar ahorros anuales, además de que es una alternativa adaptable a diferentes espacios en zonas residenciales.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema de captación y utilización de aguas lluvias para uso residencial utilizando tanques por rotomoldeo.

#### **1.3.2. Objetivos Específico**

1. Identificar las zonas del país más factibles para la aplicación del sistema de acuerdo con los índices de precipitación anual.

2. Diseñar el sistema de captación, filtrado y purificación del agua a través de los requerimientos arquitectónicos y consumo de agua del usuario.
3. Efectuar el análisis de elementos finitos para la determinación de variables como esfuerzos y deformaciones del tanque debido a la presión hidrostática.
4. Realizar el análisis y proceso de producción del tanque por rotomoldeo basado en la literatura científica.
5. Evaluar el impacto económico anual y ambiental para determinar la viabilidad del proyecto.

#### **1.4. Marco Teórico**

##### **1.4.1. Índice de precipitaciones de Ecuador en comparación al nivel mundial.**

Ecuador es un país con una de las tasas de precipitación más altas del mundo con un promedio de 2274 mm/m<sup>2</sup> de lluvia anual, según datos del Banco Mundial. Este valor es superado únicamente por países como Colombia (3240 mm/m<sup>2</sup>) y Panamá (2928 mm/m<sup>2</sup>). Sin embargo, Ecuador sigue entre los 30 principales países con mayor cantidad de lluvia anual del mundo (Banco Mundial, 2018) (Ver Apéndice C.1)

##### **1.4.2. Índice de precipitación en las provincias del Ecuador.**

Ecuador es un país con un gran potencial de precipitaciones, estas se dan principalmente durante los meses de lluvia y se extienden por todo el país al punto que aproximadamente más del 90% del territorio nacional recibe al menos 500 mm/m<sup>2</sup> de lluvia al año. Las áreas que reciben la menor cantidad de precipitaciones están ubicadas principalmente en la zona costera del país, principalmente en la provincia de Santa Elena ( $\leq 200$  mm/m<sup>2</sup>) y la costa de Manabí (>200 a 500 mm/m<sup>2</sup>). Mientras que las áreas que reciben la mayor cantidad de precipitaciones (>3000 a 7600 mm/m<sup>2</sup>) se encuentran en la amazonia y costa norte del país (Ver Apéndice C.2).

##### **1.4.3. Sistema de Captación de Aguas Lluvias**

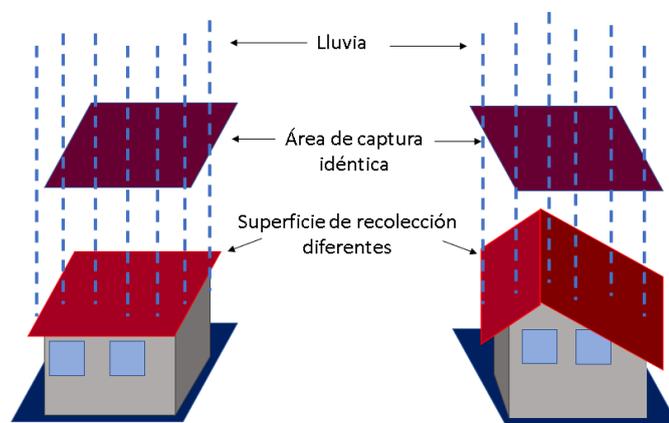
Un sistema de captación de aguas lluvias es todo aquel conjunto de recolección y almacenamiento de agua de lluvia, la cual puede ser aprovechada posteriormente para

realizar cualquier tipo de actividades dentro y fuera del hogar, por ejemplo: riego, limpieza, consumo humano, entre otras.

#### 1.4.4. Componentes de un Sistema de Captación de Aguas Lluvias

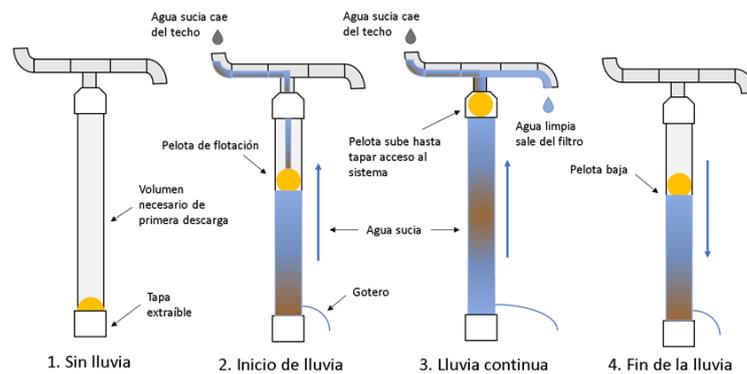
Los sistemas de captación de aguas lluvias utilizados actualmente emplean distintos componentes para cumplir un rol específico. Estos componentes suelen dividirse en (Grafman, 2017):

1. **Superficie de recolección:** Superficie plana sobre la que cae el agua para ser recolectada por el sistema.
2. **Área de captación:** Es el área horizontal proyectada de la superficie de recolección, no se consideran pendientes u otros elementos como se observa en la Figura 1.1. Normalmente, es la que se toma en cuenta para realizar los cálculos.



**Figura 1.1 Diferencia entre superficie de recolección y área de captura (Adaptado de: Grafman, 2017).**

3. **Canalización (canalones y bajantes):** Transportan el agua del techo hasta el sistema de tuberías para ser almacenado en el tanque. Se pueden encontrar en diferentes materiales como bambú, acero galvanizado, PVC y aluminio.
4. **Rejillas:** Atrapan residuos grandes como hojas, ramas y otras basuras que caen del techo antes de que ingresen al tanque.
5. **Primera descarga:** Desvían la porción de agua más sucia que cae del techo, permitiendo el ingreso únicamente de agua limpia hacía el sistema. Es importante el uso de estos filtros para deshacerse de residuos de ave, tierra o cualquier otra sustancia soluble que pueda contaminar el resto del sistema. Ver Figura 1.2.



**Figura 1.2 Principio de funcionamiento de la primera descarga.**  
(Adaptado de: Grafman, 2017).

- 6. Depósito o Almacenamiento:** Tanque donde se almacena el agua para uso posterior.
- 7. Filtro de malla:** Adicional al sistema de primera descarga, se pueden agregar sistemas de filtración para realizar una limpieza de sedimentos más pequeños antes de que ingresen al tanque.
- 8. Respiradores:** Se ubican en la parte superior del tanque. Previenen la formación de vacío en el interior, lo cual puede causar problemas a sistemas conectados al sistema ya que genera burbujas atrapadas dentro del tanque. Estos respiraderos deben llevar telas antimosquitos y otras protecciones para prevenir que insectos u otros agentes contaminantes ingresen al interior del depósito.
- 9. Tubería de desborde de agua:** Se emplea para expulsar el exceso de agua en el tanque cuando este haya llegado a su límite de almacenamiento.

(Ver Apéndice C.3)

#### 1.4.5. Depósitos para almacenamiento de agua lluvia

Uno de los principales componentes para el sistema de captación de aguas lluvias son los depósitos. Por lo general, suelen ser grandes tanques hechos de material polietileno y cumplen con la función de almacenar grandes cantidades de agua. Existen varios tipos de tanques que se clasifican de acuerdo con su disposición (superficiales, subterráneos y elevados), a su forma (rectangulares, cilíndricos y cónicos), al tipo de refuerzos (externos e internos), y otros factores más.

#### **1.4.6. Calidad del agua para su consumo**

En cualquier sistema donde se emplee agua potable se debe tener en cuenta que se cumpla con normativas universales para un consumo seguro. En este caso se emplea la norma “*Guidelines for drinking-water quality (GDWQ)*” (World Health Organization (WHO), 2022), la cual denota los requerimientos que el agua de uso humano debe tener.

#### **1.4.7. Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU)**

Las Unidades Nefelométricas de Turbidez, NTU, es una unidad empleada para medir la cantidad de sólidos suspendidos en un fluido. Mientras mayor sea la cantidad de sólidos, mayor será la turbidez y, por tanto, mayor valor de NTU para esa muestra.

3 NTU equivale a 1 mg/L de sólidos suspendidos. El agua para llegar a un estándar en el que pueda ser empleado en actividades humanas no debe sobrepasar de 5 NTU. (Ver Apéndice A.4).

#### **1.4.8. Otros elementos en las aguas lluvia**

Otros elementos presentes en el agua de lluvia son los nitratos, ácido carbónico, sulfato, calcio, magnesio, potasio y otras sales depositadas que están presentes en el agua de lluvia en diferentes cantidades, aun considerando las cantidades de estos elementos en general no representan un riesgo para la salud al emplearse, ya que poseen concentraciones muy bajas de estos químicos (Rodríguez R., 2004).

#### **1.4.9. Disminución de los valores de NTU para un consumo seguro**

Sabiendo la composición de la lluvia, sabemos que el material inorgánico no presenta una amenaza a no ser que exista la presencia de metales pesados en el agua. Sin embargo la presencia de turbidez que se discutió antes es importante ya que se trata de partículas suspendidas que pueden contener una gran cantidad de microorganismos o que pueden suponer un riesgo para la salud. Para llegar a niveles en los que el agua de lluvia no sea un riesgo para la salud debemos emplear una serie de filtros que limpien el agua hasta llegar al nivel deseado.

El filtro de primera descarga es el encargado de reducir una gran parte de la turbiedad del agua, así como eliminar las mayores concentraciones de partículas presentes en ella. Una vez se logra eliminar estas grandes concentraciones queda agua con una cantidad menor de NTU. Luego de este proceso el agua ya es apta para su uso en algunas actividades humanas. Sin embargo, esto todavía no garantiza que sea bebible o apta para consumo, ya que, a pesar de que haber alcanzado  $NTU < 5$ , la OMS establece que, para que el agua pueda ser consumida de forma segura debe alcanzar  $NTU < 1$  (World Health Organization (WHO), 2022).

#### 1.4.10. Objetivos de Desarrollo Sostenible

En el año 2015 la Organización Naciones Unidas (ONU) presentó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible. Esta Agenda cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que al cumplirse por los países miembros de la Organización se estaría mejorando la vida de todas las personas. Ecuador forma parte de esta agenda y en este proyecto se espera lograr cumplir con algunas metas presentes en los objetivos planteados (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2015).

A continuación, se presentan los objetivos y metas de los ODS que se espera alcanzar para mejorar la calidad de vida de todos:

##### Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos

- 6.3 De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.
- 6.4 De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
- 6.b Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

##### Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles

- 11.3 De aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países.

##### Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles

- 12.5 De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.
- 12.8 De aquí a 2030, asegurar que las personas de todo el mundo tengan la información y los conocimientos pertinentes para el desarrollo sostenible y los estilos de vida en armonía con la naturaleza.

**Figura 1.3 Diagrama de ODS y metas que se esperan cumplir. (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2015).**

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Proceso de diseño

Con base a la información de diversas fuentes para la elaboración de sistemas de captación de aguas lluvias, se establece un modelo sistemático para cumplir con los objetivos del proyecto.

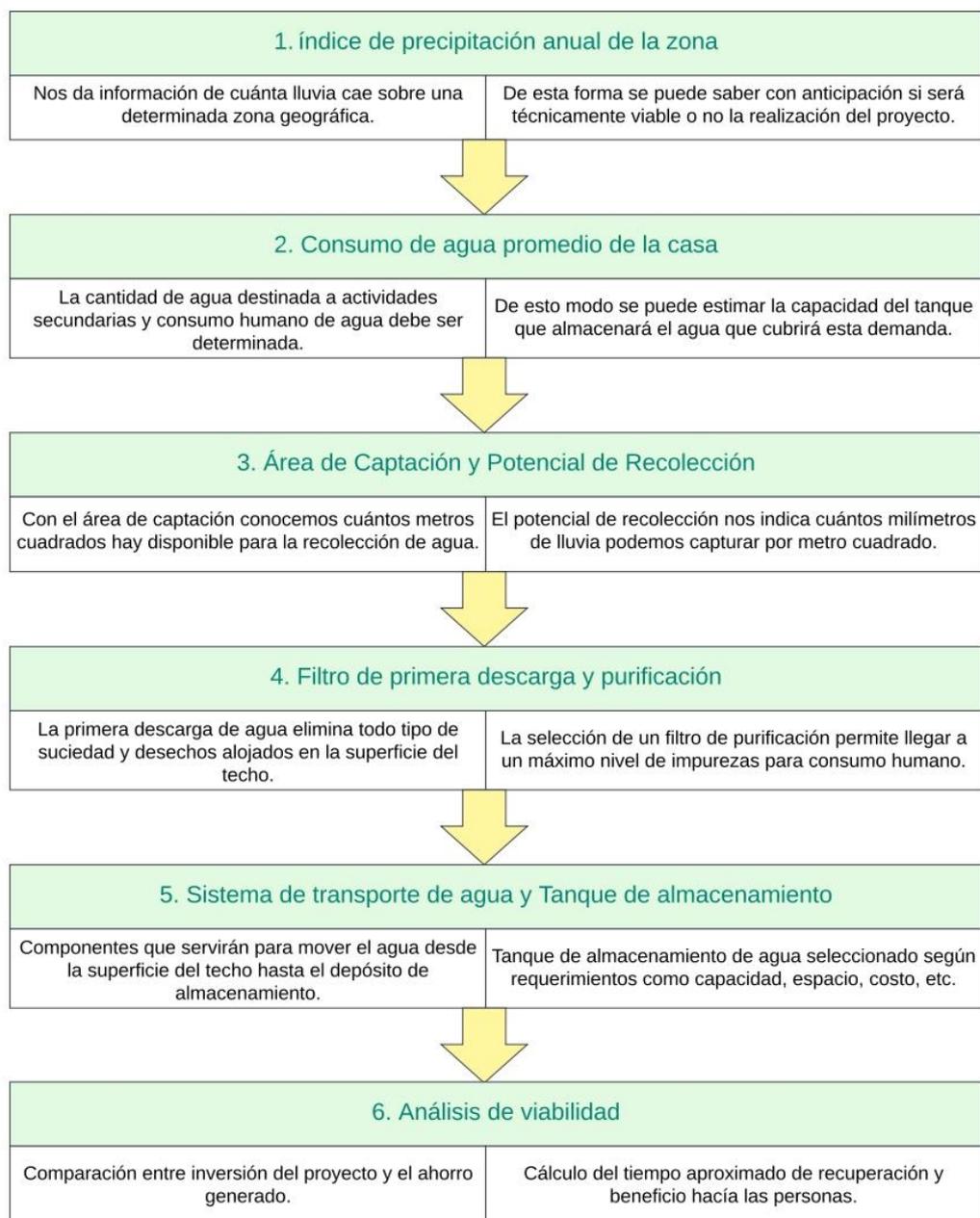


Figura 2.1 Diagrama del proceso de diseño.

## **2.2. Normas Empleadas**

Para este proyecto se empleará normas nacionales e internacionales enfocadas en el almacenamiento, trato y uso adecuado del agua potable para fines domésticos. Así también, serán consideradas normas para el diseño de los tanques de almacenamiento según su forma o geometría.

Las normas para emplearse son:

- Norma ISO 46001:2019 Sistema de Manejo Eficiente del Agua
- Norma NTE INEN 1 108:2011 Agua Potable. Requisitos
- IS 12701:1996 Especificaciones para Tanques de Almacenamiento de Agua de Polietileno Rotomoldeados
- *World Health Organization WHO - Guidelines for drinking-water quality.*

## **2.3. Factores del Sistema**

Para llevar a cabo el sistema de captación de aguas lluvias hay que considerar los siguientes factores:

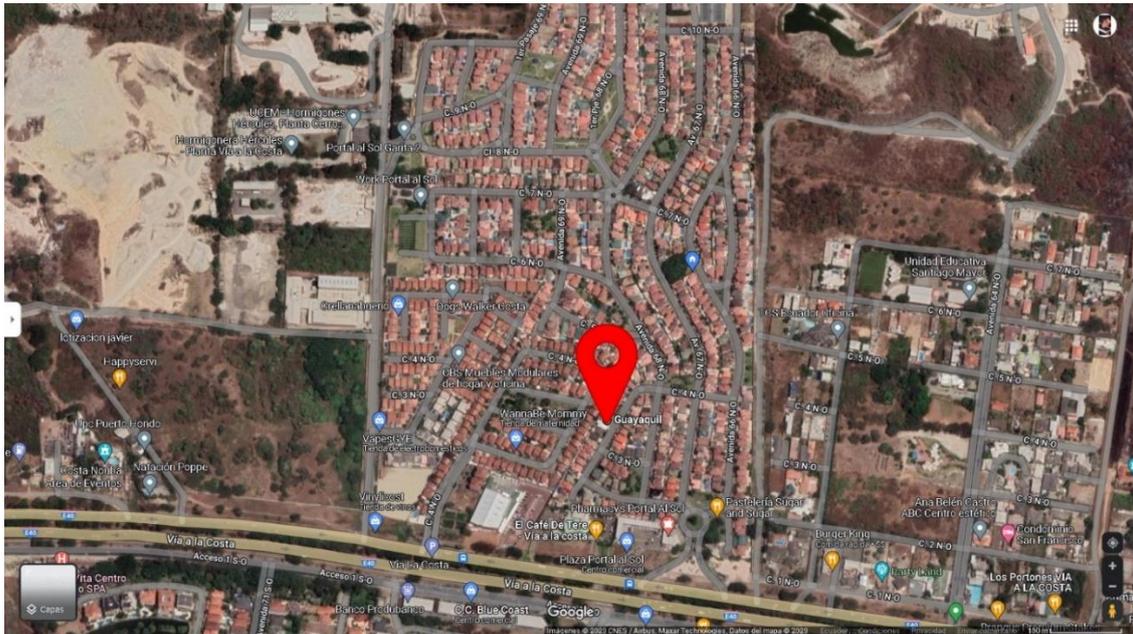
### **2.3.1. Índice de precipitación anual de la zona**

La zona de aplicación del proyecto será en una de las ciudades con mayor número de habitantes de la costa ecuatoriana, Guayaquil. En el Apéndice A.2 se muestra el registro de milímetros de lluvia por metro cuadrado obtenido del Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada (INOCAR) para la ciudad de Guayaquil, en el cual se señala el promedio anual de lluvia de los últimos 5 años, donde se evidenció que, al estar ubicada en una zona costera, la ciudad de Guayaquil cuenta con un promedio de 850 mm/m<sup>2</sup> de lluvia, ubicándola en la zona intermedia de precipitaciones que hacen de una zona climatológicamente factible para la implementación del proyecto (Ver Apéndice C.2).

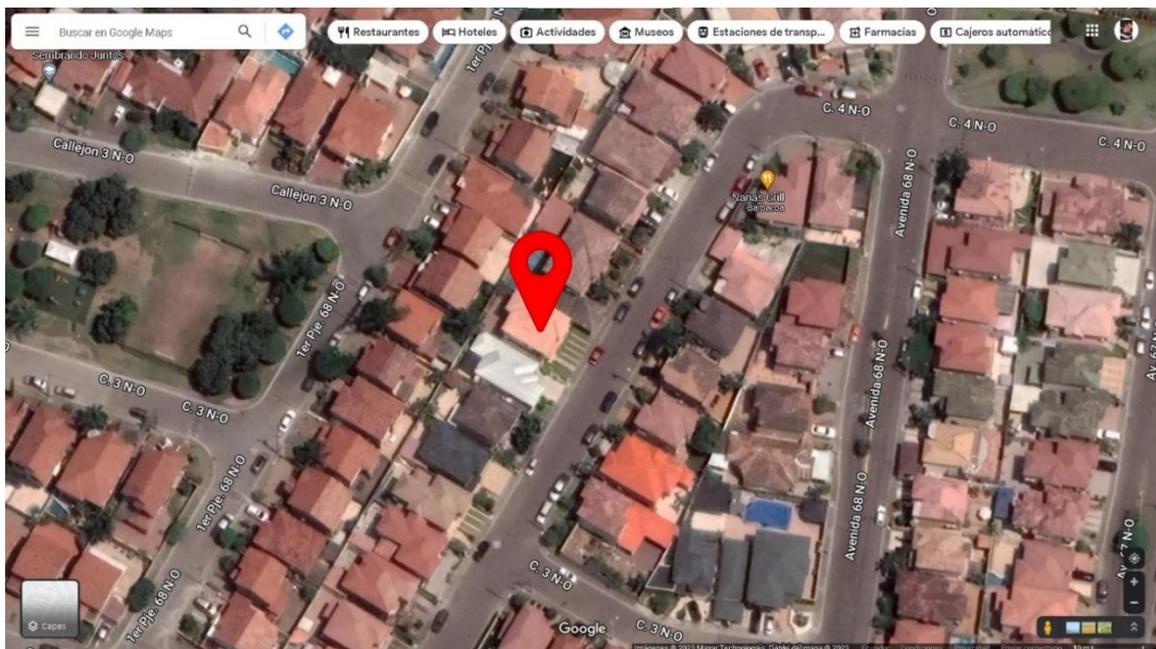
### **2.3.2. Área de captación**

Para efectos de diseño se considerará una vivienda unifamiliar modelo de 170 m<sup>2</sup> de construcción ubicada en una ciudadela de la Vía a la Costa. Sin embargo, bajo este mismo procedimiento, se podría extrapolar el sistema a otra vivienda ubicada en una

zona diferente del país. En las Figura 2.2 se presenta el mapa con la ubicación geográfica de la vivienda. En la Figura 2.3 se identifica la casa modelo.

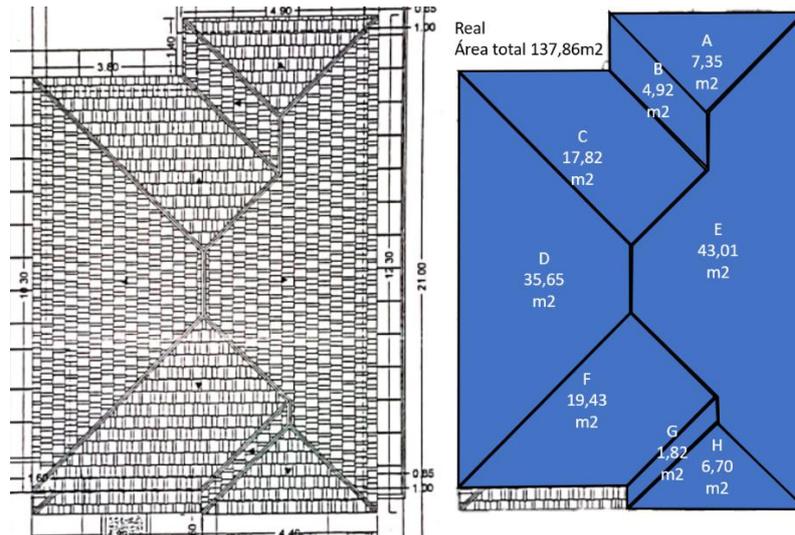


**Figura 2.2 Ubicación geográfica de la vivienda modelo.**



**Figura 2.3 Identificación de la vivienda modelo.**

En la Figura 2.4 se muestra una vista superior del techo de la vivienda conformada por distintas secciones de las cuales algunas formarán parte del área de captación. Esto se definirá más adelante.



**Figura 2.4 Secciones de techo de la vivienda modelo**

### 2.3.3. Distribución del consumo de agua

El consumo de agua nos dice cuánta agua se utiliza por las personas que habitan la casa y su distribución de acuerdo con las actividades que realizan. La vivienda es una casa de dos pisos, unifamiliar de cuatro personas. Siguiendo los lineamientos de la norma NTE INEN 1 108:2011 Agua Potable. Requisitos, se establecen los parámetros que debe cumplir el sistema de filtración. (Ver Apéndice A.4)

El histórico de consumo de agua del último año se detalla en la Tabla 2.1:

**Tabla 2.1 Consumo de agua mensual para familia de cuatro personas**

Mes	Consumo de agua [m <sup>3</sup> ]
Noviembre / 2021	31.0
Diciembre / 2021	33.0
Enero / 2022	30.0
Febrero / 2022	30.0
Marzo / 2022	26.0
Abril / 2022	36.0
Mayo / 2022	31.0
Junio / 2022	29.0
Julio / 2022	35.0
Agosto / 2022	32.0
Septiembre / 2022	31.0
Octubre / 2022	34.0
Promedio Mensual	31.5

Nota: Información determinada con los datos de planillas de la vivienda donde se empleará el sistema.

Por lo tanto, se tiene un consumo promedio de agua mensual de 31.5 m<sup>3</sup>.

La distribución de consumo mensual de agua en la casa se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 2.2 Detalle de actividades de consumo mensual de agua en la vivienda modelo.**

Actividades	Frecuencia [veces/mes]	Consumo Prom. Unitario [L]	Consumo Total [L]
Baños	120	9	1080
Ducha	120	87	10440
Lavado de Ropa	12	50	600
Lavado de Platos	90	37	3330
Limpieza de Pisos	10	44	440
Riego de Jardín	6	333	1998
Lavado de Auto	4	155	620
Lavado de Patio	2	241	482
Otras (Cocina, Lavado de manos, y otras.)	50	250	12500
Total			31500

Nota: Información obtenida a través de estimaciones experimentales de consumo en la vivienda donde se empleará el sistema.

Con base a la Norma 46001:2019 podemos definir actividades como secundarias a aquellas que puedan realizarse reemplazando el uso de agua potable por aguas lluvias.

- Limpieza de Pisos
- Riego de Jardín
- Lavado de Auto
- Lavado de Patio

#### **2.3.4. Área disponible de instalación**

La aplicación del sistema requiere de un espacio de instalación para los tanques y filtro de primera descarga. Por ende, se empleará un espacio del corredor lateral derecho de la vivienda. Para ubicar el área de instalación observamos una porción de los planos arquitectónicos de la casa.



## 2.4. Diseño del Sistema de Captación

Para el diseño del sistema de captación se utilizaron los planos del techo de la vivienda modelo (Ver planos 1 y 2 al final del documento).

### 2.4.1. Determinación del área de captación

Se analizó el plano de la Figura 2.4, se constató una superficie de ocho secciones diferentes. Con las medidas del plano se estimó el área horizontal proyectada de cada sección y el área total (137.86 m<sup>2</sup>). Analizando las secciones disponibles y, considerando el consumo promedio de actividades secundarias y consumo humano, así como otros factores como la ubicación del espacio de instalación, se decidió emplear las secciones A, B, E, G, y H.

En la Figura 2.7 se muestran las secciones que serán utilizadas como área de captación con su respectivo valor de área horizontal proyectada.

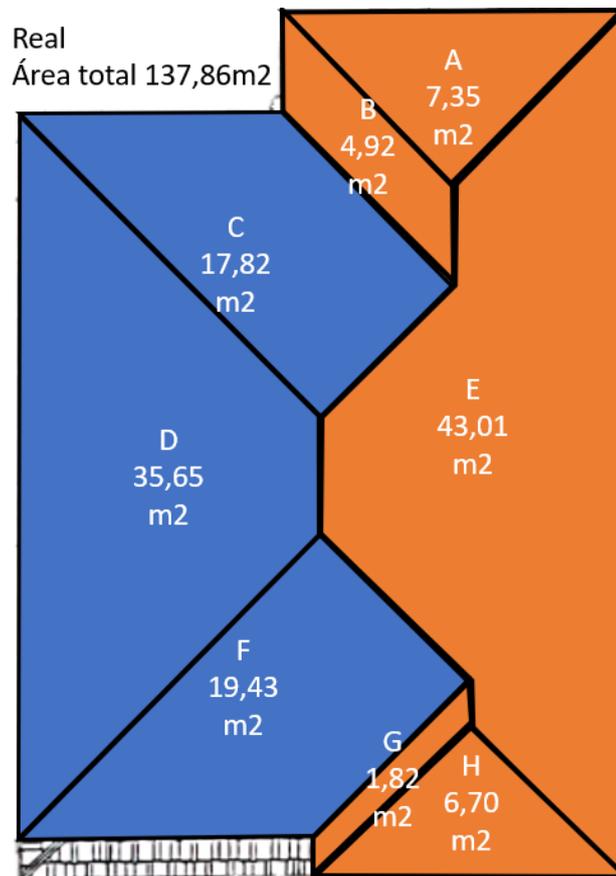


Figura 2.7 Áreas de captación (naranja).

Estas secciones fueron seleccionadas debido a que se puede emplear una sola canaleta continua que permita abarcar el área de captación, además que, debajo de esta área ha sido fijado el lugar de instalación del tanque que puede ser conectado directamente por medio de una bajante. Con las áreas seleccionadas se determina que el área horizontal de captación final a emplearse es de 63.8 m<sup>2</sup>.

#### 2.4.2. Cálculos del potencial de recolección de aguas lluvias

Para determinar el potencial de recolección de aguas lluvias empleamos la siguiente ecuación (Grafman, 2017):

$$V = R \cdot A \cdot k \cdot e \quad (2.1)$$

Donde:

$V$  = Potencial de recolección [L/mes]

$R$  = Cantidad de precipitaciones [mm/mes] (Ver Apéndice A.2)

$A$  = Área de recolección horizontal [m<sup>2</sup>] = 63.8

$k$  = Factor de conversión requerido para llevar la medición a litros [L/m<sup>3</sup>] = 1000

$e$  = Eficiencia de recolección de la superficie [adimensional] = 0.90 (Ver Apéndice A.3).

Es decir, si por ejemplo, consideramos esta fórmula junto con los valores anteriores, y efectuamos el cálculo para el mes de febrero, se obtiene un potencial de recolección de 15208.64 L/mes. (Ver Apéndice D.1).

Este cálculo se realizó para todos los meses del año y cuyos resultados se muestran en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3 Potencial de recolección para todos los meses del año.**

Mes	Promedio mensual desde el 2017 [L/m <sup>2</sup> ]	Potencial de recolección [L]
Enero	152.20	8739.30
Febrero	264.90	15208.60
Marzo	244.90	14059.30
Abril	107.30	6160.20
Mayo	48.60	2792.50
Junio	2.00	112.00

Mes	Promedio mensual desde el 2017 [L/m <sup>2</sup> ]	Potencial de recolección [L]
Julio	0.30	16.10
Agosto	0.20	9.60
Septiembre	0.10	4.30
Octubre	0.00	0.00
Noviembre	0.50	27.30
Diciembre	29.50	1691.00
Total anual	850.20	48820.20

Nota: Los cinco primeros meses son los que poseen los mayores niveles de potencial de recolección de lluvia debido a la época invernal.

### 2.4.3. Cálculos de primera descarga

Para el cálculo de volumen de primera descarga se consideró los NTU que debe alcanzar nuestro sistema. Como sabemos que el sistema será empleado únicamente para aplicaciones secundarias se empleará 20 NTU como turbiedad objetivo (Grafman, 2017), sin embargo, este valor se reducirá posteriormente a NTU<1 con el sistema de purificación para que se apta para consumo humano.

Considerando la ubicación geográfica de la casa, se tomará un valor de turbiedad que cae del techo de 80 NTU por su cercanía a minas a cielo abierto donde se desprenden partículas de polvo que caen al techo. Para el decaimiento exponencial se utiliza un valor de 1.5/mm que considera un techo con poca suciedad, ya que, aunque se menciona la cercanía a las minas no existe presencia de otras fuentes de suciedad como árboles que desprendan hojas o construcciones cercanas (Grafman, 2017).

Para determinar el volumen de agua que se necesita en la primera descarga, usamos la siguiente ecuación (Grafman, 2017):

$$V_{ff} = - \frac{\ln\left(\frac{\text{Turbiedad objetivo}}{\text{Turbiedad del techo}}\right)}{\lambda} \cdot A \cdot k \quad (2.2)$$

Donde:

$V_{ff}$  = Volumen de primera descarga [L]

*Turbiedad objetivo* = Turbiedad esperada luego de la primera descarga [NTU] = 20.

*Turbiedad del techo* = Turbiedad con la que sale el agua del techo [NTU] = 80.

$\lambda$  = Decaimiento exponencial [ $\text{mm}^{-1}$ ] = 1.5.

$A$  = Área de captación [ $\text{m}^2$ ] = 63.8

$k$  = Factor de conversión para llevar a litros [ $1 \frac{\text{L}}{\text{mm}\cdot\text{m}^2}$ ]

$$V_{ff} = 58.96 \approx 60 \text{ L}$$

Por lo tanto, se requiere como mínimo 60 litros de capacidad para el sistema de primera descarga. (Ver Apéndice D.2)

#### 2.4.4. Determinación de la capacidad del tanque

En la Tabla 2.4 se puede observar la demanda de consumo agua por actividades secundarias y consumo humano al mes, cuyo valor será cubierto por el tanque durante los meses de lluvia.

**Tabla 2.4 Volumen de agua que deberá proveer el tanque al mes.**

Actividad	Consumo
Limpieza de Pisos	440 L
Riego de Jardín	1998 L
Lavado de Auto	620 L
Lavado de Patio	482 L
Consumo Humano	160 L
Total	3700 L

Nota: El valor de consumo humano hace referencia a la cantidad de litros de agua consumidos al mes por botellones de 20 L.

Se deben cubrir al menos 3700 litros de agua al mes, por lo tanto, el tanque debe tener la capacidad de proporcionar dicha cantidad de agua mensual. Se tienen en cuenta que el consumo de agua puede variar en algunas actividades mes a mes. En el caso de que se requiera una demanda mayor a los 3700 L en los meses de lluvia se la puede obtener ya que el potencial de recolección de la Tabla 2.3 nos indica que se puede obtener mucha más cantidad de la que se necesitaría.

Dado que no existen tanques con capacidad nominal 3700 litros comercialmente en el mercado, para cubrir esta demanda se utilizaría un tanque de mayor capacidad, como 5000 litros. Sin embargo, un tanque de mayor capacidad requeriría un gran espacio de instalación o incluso podría ser de uso enterrado.

Para evitar estos inconvenientes, se escoge un tanque con capacidad de 1100 litros, ya que, basándonos en el potencial de recolección del mes de mayo (2792.5 litros en la Tabla 2.3), este valor sería el mínimo en poder ser almacenado durante los cinco primeros meses del año. Así, el tanque estaría en un proceso continuo de carga y descarga hasta abastecer la cantidad de consumo de agua necesario (3700 litros) de cada mes en la época de invierno.

## **2.5. Matriz de decisión**

### **2.5.1. Factores de Interés**

Parte fundamental del sistema de captación de aguas lluvias es el tanque de almacenamiento, el cual debe contar con ciertas condiciones para que sea espacial y económicamente rentable. Los factores de interés empleados en la matriz de decisión para seleccionar el tanque son:

**Espacio Requerido:** (20%).

Se designa un valor de 20% debido a que de acuerdo con la forma del tanque dependerá el espacio que se requiera.

**Disponibilidad:** (30%).

Se designa un valor de 30% debido a que la probabilidad de acceso/compra inmediata garantiza un rápido inicio de construcción del proyecto.

**Costo:** (40%).

Se designa un valor de 40% debido a que el tanque es el elemento más caro del sistema, por lo cual la selección de este puede afectar drásticamente la viabilidad económica del proyecto.

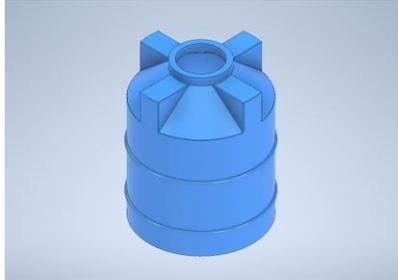
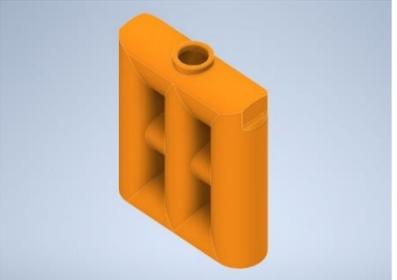
**Mantenimiento:** (10%).

Todos los tanques se pueden limpiar e inspeccionar, sin embargo, unos hacen de esta tarea un poco más fácil y otros más difícil, de aquí que tenga el factor más bajo en comparación a otros factores.

## 2.5.2. Alternativas de solución

Como alternativas para el tanque se presentan tres modelos con capacidad nominal de 1100 litros y cuyo material base es el polietileno.

**Tabla 2.5 Alternativas de sistema de almacenamiento.**

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
		
Tanque Cilíndrico Tipo Botella	Tanque Plano Rectangular	Tanque Modular Vertical
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tanque cilíndrico de fabricación local.</li> <li>- Diámetro exterior de 1100 mm y altura de 1350 mm.</li> <li>- Debido a su geometría, demanda un gran espacio de instalación.</li> <li>- Facilita tareas de mantenimiento ya que no posee estructuras internas que dificulten la limpieza.</li> <li>- Tiene refuerzos externos tipo cilíndricos para soportar las presiones en las paredes del tanque.</li> <li>- Costo aproximado en el mercado de USD \$250.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tanque plano rectangular de fabricación internacional. 2365 mm de largo, 255 mm de ancho y 1835 mm de alto.</li> <li>- Debido al perfil plano que posee, requiere menos espacio de instalación.</li> <li>- Cuenta con <i>Kiss-Offs</i>A que son estructuras en forma de columnas que unen las caras interiores del tanque para dar mayor rigidez y soporte a la flexión (Crawford y Kearns, 2003) (Ver Apéndice E.1).</li> <li>- Estas columnas dificultan las tareas de mantenimiento debido al difícil acceso a todos los rincones dentro del tanque.</li> <li>- Este modelo suele ser más costoso que los tanques convencionales debido su exigente proceso de fabricación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tanque modular conformado por tres estructuras cilíndricas verticales que permiten una mejor distribución de las presiones sobre las paredes interiores del tanque.</li> <li>- Tanque de fabricación internacional con dimensiones: 1770 mm x 540 mm x 1650 mm.</li> <li>- Debido a su geometría, el tanque es adecuado para espacios reducidos.</li> <li>- Sin embargo, debido a esto, se limita el espacio para realizar tareas de limpieza interna del tanque. Este tanque tiene un costo aproximado de USD \$550.</li> </ul>

### 2.5.3. Matriz

Con los datos planteados, se realiza la matriz de decisión:

**Tabla 2.6 Matriz de decisión para la selección del tanque.**

Alternativas	Factores de decisión								Resultados
	Costo		Espacio Requerido		Mantenimiento		Disponibilidad		
	40%		20%		10%		30%		100%
	Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total	
1	3	1.2	1	0.2	3	0.3	3	0.9	2.6
2	1	0.4	2	0.4	1	0.1	1	0.3	1.2
3	2	0.8	3	0.6	2	0.2	2	0.6	2.2

### 2.6. Determinación del espesor en las paredes del tanque

Para comprobar la resistencia mecánica del tanque a la presión sometida, se realizó el análisis de esfuerzos y deformaciones por medio de elementos finitos. Para esto, se debe representar el tanque usando un software de diseño como Autodesk Inventor® por lo cual se necesita información más allá de las dimensiones principales, como el espesor de las paredes, que no está disponible en catálogos de fabricantes locales.

Por todo esto, utilizamos la Tabla 2.6 de la Norma IS 12701:1996 que nos indica las dimensiones principales, así como los espesores mínimos recomendados y otros parámetros de los tanques.

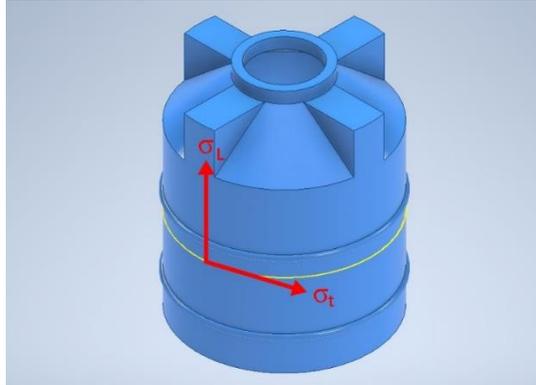
**Tabla 2.7 Tabla de dimensiones de los tanques de agua (IS 12701:1996).**

Capacidad [L]	Diámetro Exterior [mm]	Altura [mm]	Diámetro de la boca [mm]	Espesor de las paredes [mm]	Peso [Kg]
500	800 - 1140	625 - 1025	370	4.0	18
700	900 - 1140	800 - 1100	370	4.4	23
1100	1016 - 1250	1070 - 1398	370	4.5	36
1500	1080 - 1450	1150 - 1590	370	4.5	47
2500	1380 - 1610	1400 - 1810	450	7.7	81
5000	1800 - 2110	1800 - 450	450	10.7	180

Por tanto, el espesor mínimo del tanque cilíndrico de la Figura 2.8, debe ser 4.5 mm.

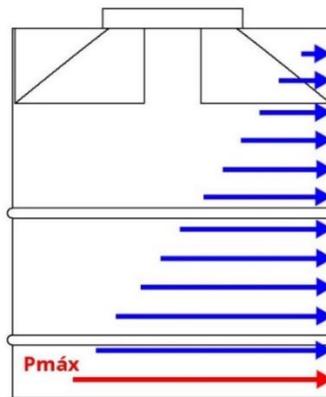
## 2.7. Esfuerzos y deformaciones

La fuerza que actúa sobre las paredes del tanque es producida por la presión hidrostática. En superficies cilíndricas, fuerzas como esta dan lugar a dos tipos de esfuerzos: esfuerzos tangenciales ( $\sigma_t$ ) y esfuerzos longitudinales ( $\sigma_L$ ), los cuáles se deben tener en cuenta al momento de diseñar tanques de almacenamiento (Norton, 2011).



**Figura 2.8 Representación de fuerzas que actúan sobre el tanque.**

Al estar abierto a la atmósfera a través del respiradero, la presión en el fondo será producida únicamente por el peso del agua. Esto significa que los esfuerzos longitudinales pueden despreciarse mientras que, los esfuerzos tangenciales serán los encargados de empujar únicamente las paredes del tanque (Norton, 2011).



**Figura 2.9 Distribución de la presión en el interior del tanque.**

Para determinar la presión del fondo del tanque utilizamos la siguiente ecuación:

$$P_{m\acute{a}x} = P_0 + \rho gh \quad (2.3)$$

Donde:

$P_{\text{máx}}$  = Presión en el fondo del tanque [Pa]

$P_o$  = Presión en la superficie libre del líquido [Pa] = 0

$\rho$  = Densidad del agua [Kg/m<sup>3</sup>] = 997

$g$  = Aceleración de la gravedad [m/s<sup>2</sup>] = 9.8

$h$  = Altura de nivel de líquido [m] = 1.16

Reemplazando valores, la presión en el fondo del tanque nos queda 11334 Pa.

El esfuerzo tangencial lo determinamos a través de la ecuación de Norton (2011):

$$\sigma_t = \frac{Pr}{t} \quad (2.4)$$

Donde:

$\sigma_t$  = Esfuerzo tangencial [MPa]

$r$  = Radio interior del tanque [mm] = 545

$t$  = Espesor de pared [mm] = 5

Reemplazando, el esfuerzo tangencial nos da 1.19 MPa.

Por lo tanto, el factor de seguridad resultante es:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_t} \quad (2.5)$$

Donde:

$n$  = Factor de seguridad

$S_y =$  Esfuerzo de fluencia del material [MPa] = 25

Reemplazando, el factor de seguridad resultante es 21.

$$n = \frac{25}{1.19}$$

$$n = 21$$

Esto quiere decir que el tanque es resistente y no falla debido a la presión hidrostática.

## 2.8. Sistema de purificación

Para llegar a  $NTU < 1$  se considera un sistema de filtrado de múltiples etapas el cual además de eliminar la cantidad de sólidos suspendidos, se encarga de controlar la presencia de químicos no deseados y metales. Con un sistema como el descrito se esperaría llegar a los 0.3 NTU. Adicionalmente, considerando que se trata de aguas lluvias también se tendrá en cuenta un filtro de luz ultravioleta ya que la luz ultravioleta actúa como germicida que mata patógenos presentes en el agua.

En este proyecto en particular se empleará un proceso de filtrado de cinco etapas que permitirá que el agua sea apta para el consumo humano. Cada una de estas etapas se encargará de realizar un proceso específico de limpieza del agua. Las cinco etapas son:

1. Filtro de polipropileno de 10 micras

- Encargado de retener sólidos y sedimentos de hasta 10  $\mu\text{m}$ .

2. Filtro de carbón activado granular tipo GAC

- Retiene cloros, nitratos, detergentes y otros químicos además de sabores y olores que vengan con el agua

3. Filtro de carbón activado en bloque CTO

- Al igual que la etapa anterior, ayuda a retener cloros, nitratos, detergentes y otros químicos. Mejora la turbidez y estética del agua.

4. Filtro de luz ultravioleta

- Mata virus y bacterias presentes en el agua. Destruye microorganismos sin la necesidad de químicos

5. Abrillantador

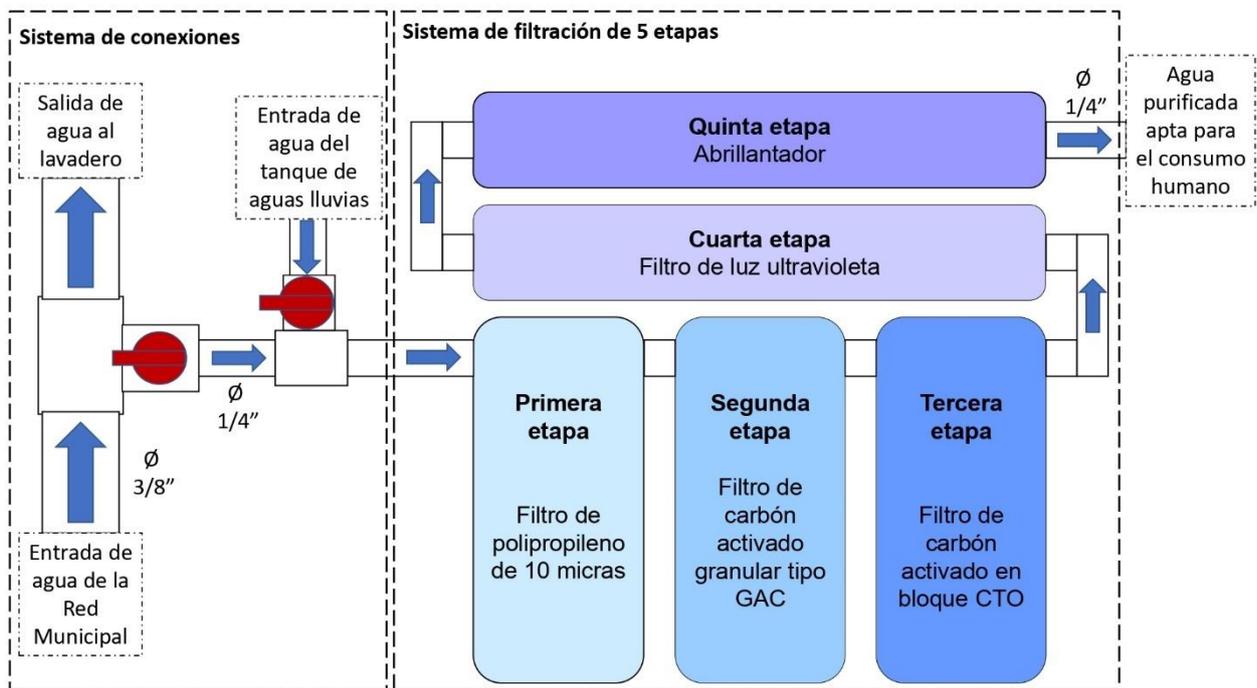
- Elimina malos sabores u olores que quedan en el agua luego de cada uno de las etapas anteriores. Genera un sabor más agradable para el consumo humano.

**Figura 2.10 Etapas del Sistema de Purificación.**

### 2.8.1. Instalación del Sistema de Purificación

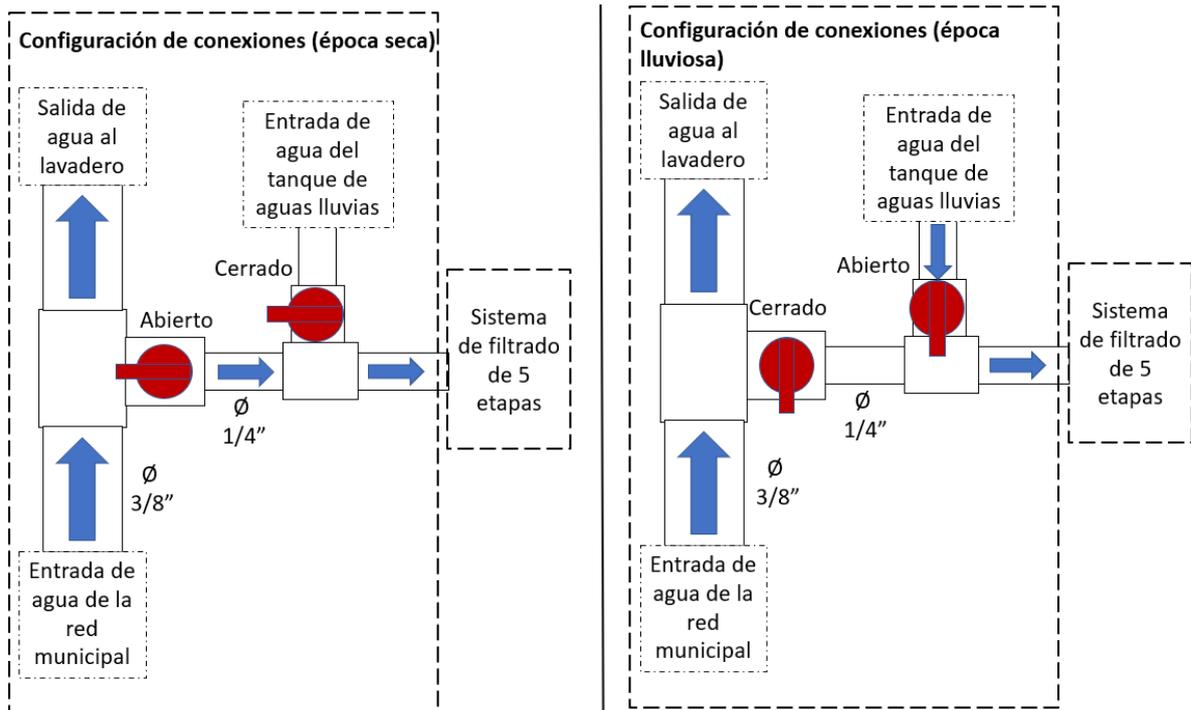
Para realizar las conexiones al sistema empleamos la entrada de agua de la red municipal presente debajo del lavamanos. Esta conexión lleva el agua hacia el lavadero, pero usando una Tee creamos una conexión por medio de una manguera de 1/4" hacia el sistema de purificación de cinco etapas. (Ver Figura 2.11).

También, si conectamos al sistema otra Tee, con una válvula que permita la entrada de agua proveniente del tanque, podemos mantener un suministro de agua para el sistema de purificación a través del tanque durante los meses de lluvia, y, durante el verano a través de la entrada de agua de la red municipal cuando la válvula del tanque esté cerrada garantizando el funcionamiento de purificación durante todos los meses del año (Ver Figura 2.12).



**Figura 2.11 Esquema de conexiones para el filtro de cinco etapas y representación de cada uno de los filtros.**

Nota: Las flechas azules indican la dirección del recorrido de agua dentro del sistema. El diámetro de tuberías está representado por el símbolo  $\emptyset$  seguido del diámetro nominal de tuberías.

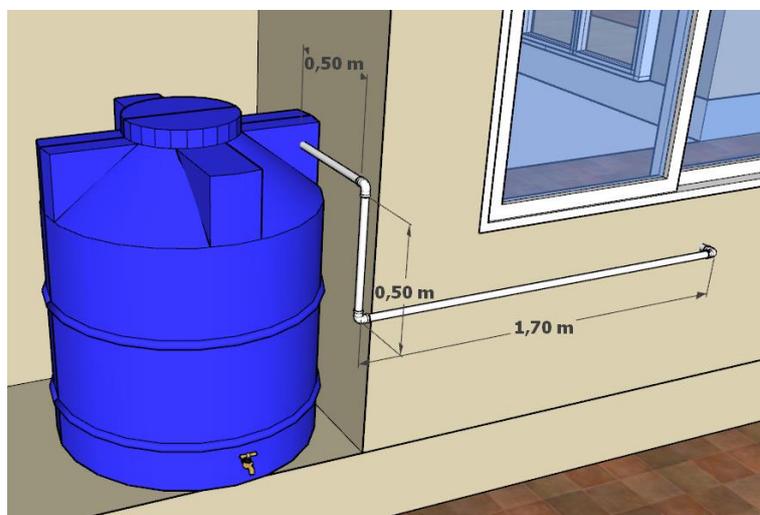


**Figura 2.12 Configuración de conexiones para meses de lluvia y secos.**

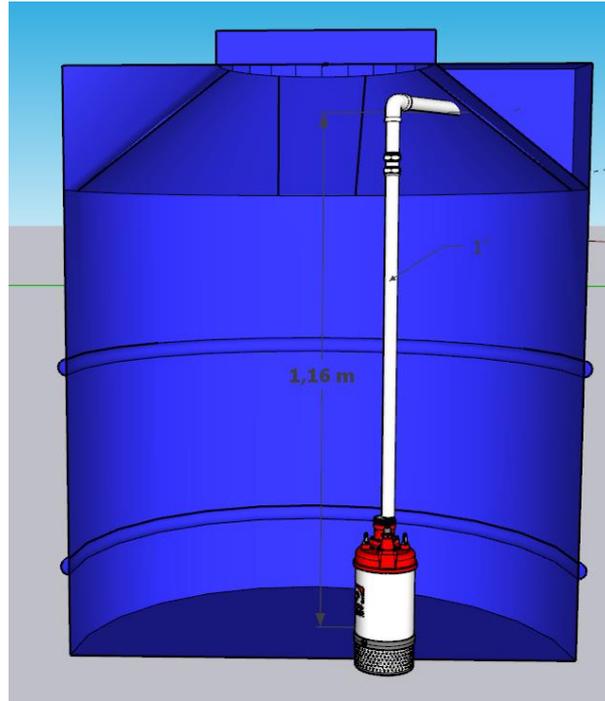
Nota: La configuración de conexiones muestra cómo será suministrada el agua hacia el filtro de cinco etapas a través de la conexión de agua del lavadero y el tanque de aguas lluvias.

### 2.8.2. Cálculo de potencia para la bomba sumergible

Para obtener la potencia de la bomba que permitirá mover el fluido desde el fondo del tanque (Punto 1) hasta un punto ubicado en la parte inferior del lavamanos de la cocina (Punto 2), nos basamos en el recorrido de tuberías y accesorios de la Figura 2.13.



**Figura 2.13 Recorrido de tuberías para el sistema de purificación.**



**Figura 2.14 Instalación de la bomba sumergible dentro del tanque.**

A continuación, aplicamos la ecuación de la energía de la mecánica de fluidos para determinar la carga de trabajo de la bomba  $h_b$ .

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_b - h_L = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (2.6)$$

Donde:

$P_1$  = Presión en el fondo del tanque [Pa] = 11334 =  $P_{\text{máx}}$  de la Sección 2.7

$V_1$  = Velocidad del fluido en el fondo del tanque [m/s] = 0

$Z_1$  = Altura geométrica inicial del fluido = 0 (*Sistema de referencia en el fondo del tanque*)

$h_b$  = Carga de trabajo de la bomba [m]

$h_L$  = Perdidas por fricción en tuberías y accesorios [m]

$P_2$  = Presión a la entrada del filtro [Pa] = 275790 (*Obtenida considerando el rango de funcionamiento del sistema de purificación. (Ver Apéndice F.)*)

$V_2$  = Velocidad a la entrada del filtro [m/s] = 15.54 (Obtenida considerando el caudal mínimo necesario del sistema de purificación y diámetro de la tubería de ingreso ¼")

$Z_2$  = Altura geométrica al nivel de la entrada del filtro [m] = 0.66

Luego de determinar las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios (Ver Apéndice D), se puede obtener el valor de la carga de trabajo de la bomba  $h_b$ , el cual resulta:

$$h_b = 140.89 \text{ m}$$

Con esto, la potencia hidráulica de la bomba se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$P_{hid} = \rho g Q h_b \quad (2.7)$$

Donde:

$P_{hid}$  = Potencia hidráulica de la bomba [W]

$Q$  = Caudal de la tubería [m/s<sup>3</sup>] = 0.0005

$$P_{hid} = 689 \text{ W} \approx 0.92 \text{ HP}$$

Considerando una eficiencia del 90%, la potencia del motor se obtiene a partir de:

$$\eta = \frac{P_{hid}}{P_{motor}} \quad (2.8)$$

Donde:

$\eta$  = Eficiencia del motor [%] = 90

$P_{motor}$  = Potencia del eje de motor de la bomba [HP]

$$P_{motor} \approx 1 \text{ HP}$$

Por tanto, seleccionamos una bomba de 1 HP, y que, controlada por un presostato, regule su funcionamiento para cumplir con las exigencias del hogar.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1. Resultados obtenidos

Se tiene la siguiente tabla de resultados:

**Tabla 3.1 Resultados de parámetros trascendentales del proyecto.**

Parámetro	Valor
Consumo mensual	31.5 m <sup>3</sup>
Área de captación de aguas lluvias	63.8 m <sup>2</sup>
Volumen de primera descarga	60 L
Volumen de agua requerido	3700 L
Capacidad del tanque	1100 L
Presión máxima del tanque	11334 Pa
Esfuerzo tangencial (teórico)	1.19 MPa
Factor de seguridad (teórico)	21
Potencia de la bomba	1 HP

Nota: Adicional, se obtuvieron datos como la pluviometría de la zona y el potencial de recolección que varían al mes.

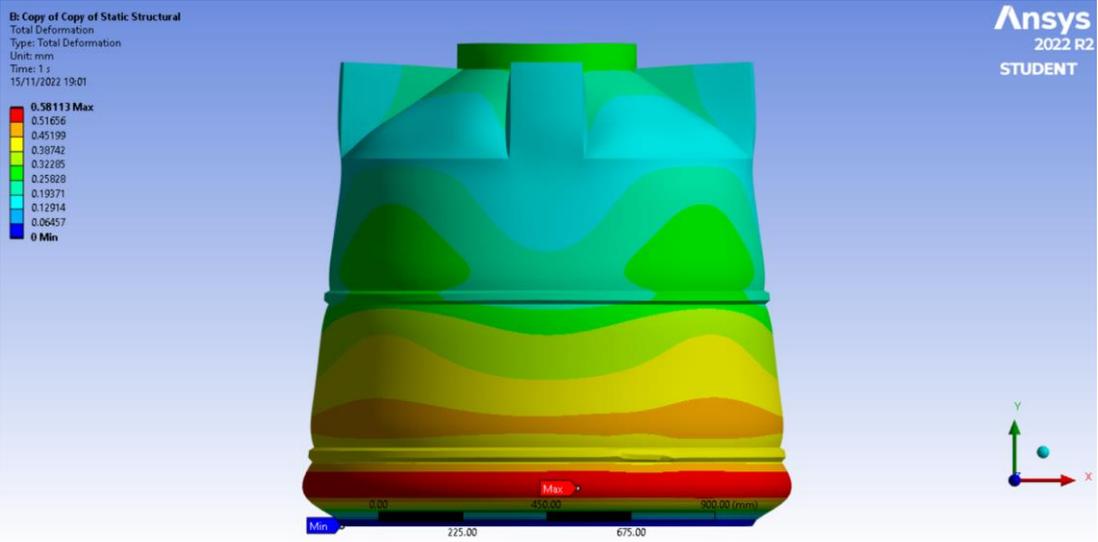
Para poder consultar estos valores ver la Tabla 2.3.

### 3.2. Análisis de elementos finitos

Para realizar el análisis se consideraron variables físicas como: fuerza gravitacional, densidad del agua, altura del fluido, material del recipiente (polietileno de alta densidad), así como condiciones de frontera como la base fija del recipiente. Se utilizó un mallado estructural hexaédrico (cubo) con énfasis en las caras laterales del tanque. (Ver Apéndice E.2).

Al introducir la presión hidrostática sobre las paredes del tanque en un software de elementos finitos se obtuvieron los siguientes resultados:

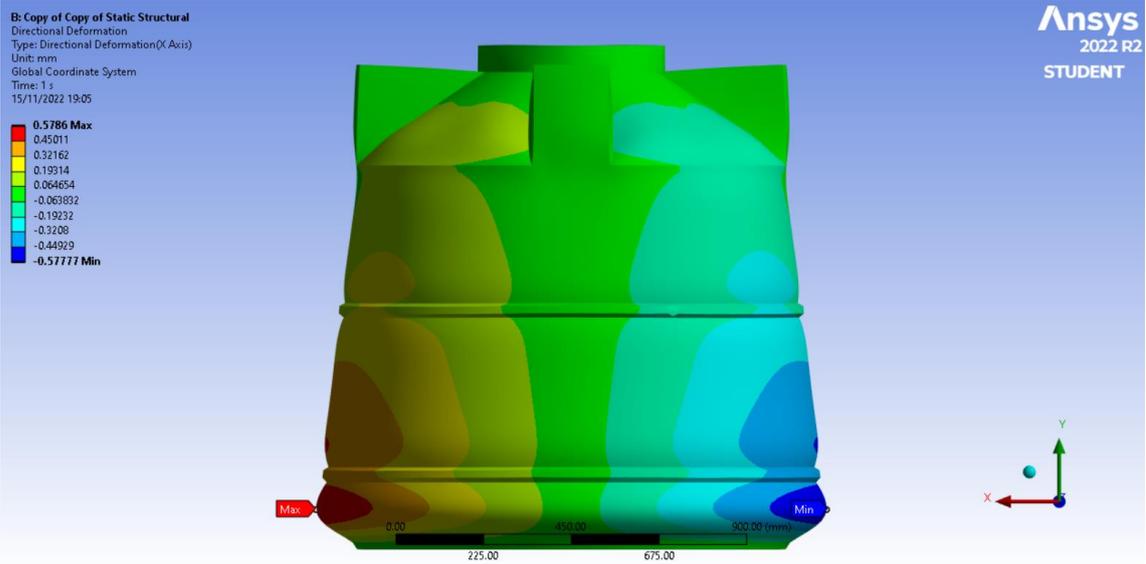
**Deformación Total:** Máx. = 0.58113 mm; Mín. = 0 mm



**Figura 3.1** Análisis de elementos finitos del tanque en ANSYS® (deformación total)

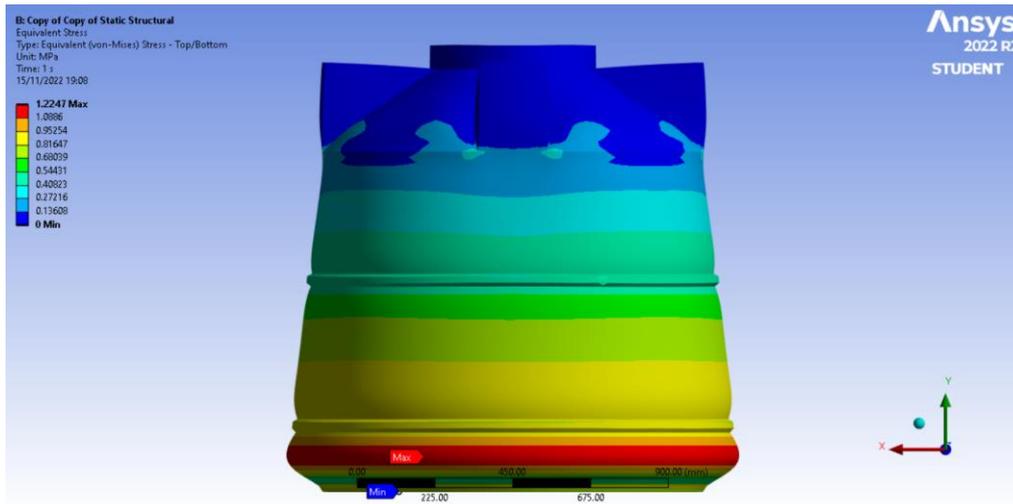
Al completar la simulación, la máxima presión actuará en el fondo del tanque, por ende, ese punto alcanzará la mayor deformación.

**Deformación en el Eje X:** Máx. = 0.5786 mm; Mín. = -0.5777 mm



**Figura 3.2** Análisis de elementos finitos del tanque en ANSYS® (deformación eje x)

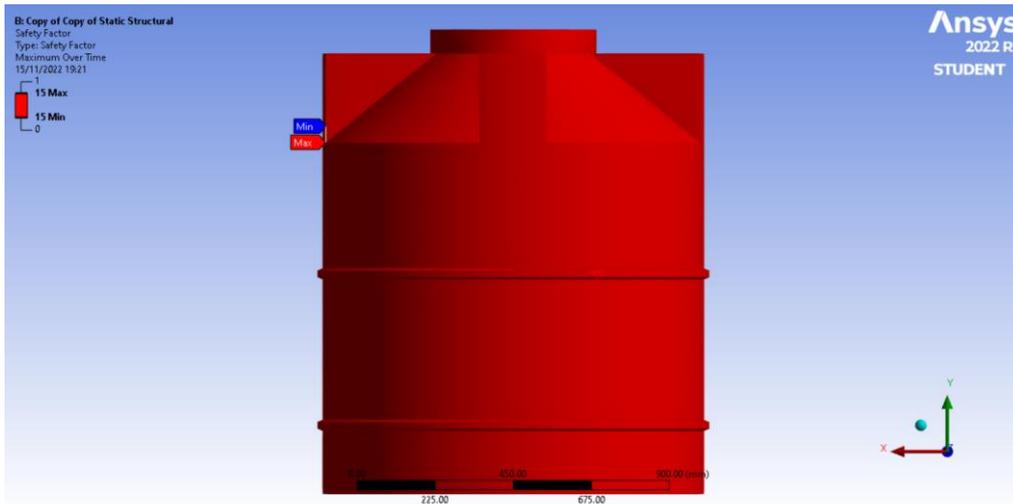
**Esfuerzo equivalente de Von-Misses: Máx. = 1.2247 MPa; Mín. = 0 mm**



**Figura 3.3 Análisis de elementos finitos del tanque en ANSYS® (deformación eje y)**

Se puede comparar el resultado obtenido a través del software con los resultados obtenidos mediante las simulaciones. El esfuerzo máximo que alcanza el tanque es 1.22 MPa en la simulación y 1.19 MPa en los cálculos teóricos realizados en el capítulo anterior.

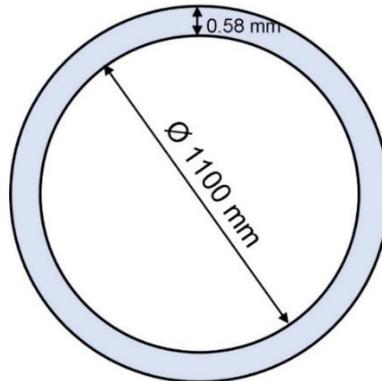
**Factor de Seguridad: Máx. = 15; Mín. = 15 mm**



**Figura 3.4 Análisis de elementos finitos del tanque en ANSYS® (factor de seguridad)**

El factor de seguridad obtenido en la simulación es ligeramente menor al obtenido en la sección de cálculos. En ambos casos, el factor de seguridad es mayor a la unidad, lo que nos garantiza que nuestro tanque no falla ante la fuerza hidrostática.

Sin embargo, una prueba más real se realiza considerando las deformaciones luego de cierto período de tiempo, donde la diferencia entre las medidas circunferenciales antes y después de la carga no debe ser mayor al 2% de las medidas originales.



**Figura 3.5 Representación de la deformación máxima del tanque.**

Luego de que actúe la carga sobre el punto de máxima presión, la variación de radio (deformación) será de aproximadamente 0.58 mm. Por lo tanto, el nuevo diámetro vendría dado por:

$$D_f = D_i + 2 \Delta r \quad (3.1)$$

Donde:

$D_f$  = Diámetro final [mm]

$D_i$  = Diámetro inicial del tanque [mm] = 1100

$\Delta r$  = Variación de radio [mm] = 0.58

El diámetro final en el punto de máxima presión será:

$$D_f = 1101.16 \text{ mm}$$

Con el diámetro final podemos calcular la diferencia entre mediciones circunferenciales ( $\Delta D$ ) antes y después.

$$\Delta D = D_f - D_i \quad (3.2)$$

$$\Delta D = 1.16 \text{ mm}$$

Se puede determinar ahora si la diferencia es menor al 2% de las medidas originales.

$$\frac{\Delta D}{D_i} \cdot 100\% \quad (3.3)$$

$$\frac{1.16}{1100} \cdot 100\%$$

$$= 0.105 \% < 2\%$$

Con lo cual, se comprueba que el tanque cumple con los requisitos estándares de funcionamiento.

### 3.3. Costos de Implementación

Para la implementación del sistema se tiene que tomar en cuenta los costos presentados como costo inicial del sistema y costo de mantenimiento.

#### 3.3.1. Costo inicial del sistema

El costo inicial comprende el costo de elementos que componen el sistema, para el cual se consideran los costos de diferentes secciones de este.

**Tabla 3.2 Costos generales del sistema**

Selección del sistema	Total USD
Canales de aguas lluvias	\$ 280.89
Tuberías, primera descarga y accesorios	\$ 111.98
Filtración, purificación y bombeo	\$ 334.67
Tanques	\$ 266.00
Mano de obra	\$ 198.71
<b>Total Costo Inicial del Sistema</b>	<b>\$ 1 192.25</b>

Con todos los elementos, incluyendo la mano de obra la cual se calculó como un 20% del costo de los materiales, se obtiene un costo total de USD \$ 1 192.25. Este costo representa el costo inicial de cada uno de los equipos necesarios para conformar el sistema, incluyendo elementos del sistema de filtración. La lista detallada de precios por sección del sistema se encuentra en la tabla de la sección de Apéndice G.

### 3.3.2. Costo de mantenimiento

Al emplear el sistema se debe tener en consideración el costo de determinados elementos que deberán ser reemplazados luego de cada cierto tiempo para permitir el óptimo funcionamiento del sistema. En el caso de nuestro sistema se debe considerar los filtros y el tiempo de duración que cada uno posee según las especificaciones del fabricante para ser reemplazado por uno nuevo. Adicional a esto se debe tener en cuenta los mantenimientos periódicos de limpieza de filtros asegurándose de que no exista acumulación de suciedad en estos.

**Tabla 3.3 Costos de refacciones para el mantenimiento del sistema.**

Filtros	Duración del filtro	Costo individual USD	Cambios al año	Costo anual USD
Cartucho de Polipropileno EVANS PP-10	2-6 meses	\$ 5.11	2.0	\$ 10.22
Cartucho de carbón activado granular EVANS GAC-10	4-6 meses	\$ 7.08	2.0	\$ 14.16
Cartucho de carbón activado en bloque EVANS CTO-10	4-6 meses	\$ 5.91	2.0	\$ 11.82
Luz ultravioleta EVANS UV-6W	2 años	\$ 30.32	0.5	\$ 15.16
Filtro abrillantador de agua EVANS T-33	1-2 años	\$ 7.08	0.5	\$ 3.54
Recambio Filtro Malla 100 Mesh	4 meses	\$ 5.00	3.0	\$ 15.00
Costo de recambio de filtros para el sistema				\$ 69.90

Teniendo en cuenta los diferentes filtros del sistema se tiene un gasto anual de USD \$ 69.90 por mantenimiento de filtros. Este valor se obtiene a partir del tiempo de duración máximo de los filtros. Sin embargo, esto puede cambiar dependiendo de la ubicación y cantidad de suciedad que se detecte en el sistema. Adicional, se debe considerar otros mantenimientos como limpieza periódica del sistema, esta limpieza puede realizarse empleando agentes limpiadores como cloro en bajas cantidades aplicado a las paredes del tanque y limpiar bien antes de que se vuelva a llenar.

### 3.4. Análisis de Viabilidad

#### 3.4.1. Beneficio económico en ahorro de botellones

En Ecuador es muy común el uso de agua mediante botellones de agua de 20 litros. Con una encuesta realizada a 107 familias de entre 4 a 6 habitantes por hogar, se logró determinar que el 83.2% (89 familias) de los encuestados emplea botellones de agua. El restante 16.8% (18 familias), emplea otros métodos para obtener agua como sistemas de filtración, uso de agua embotellada u otros para obtener el agua que toman a diario. (Ver Apéndice B.).

En esta encuesta que se realizó se determinó que cada familia emplea en promedio 2.8 botellones de agua por semana. Y que, a pesar de que el precio estándar de los botellones es de USD \$ 2.50 las familias gastan en promedio USD \$ 2.68 por botellón y en algunos casos hasta USD \$ 3.50 por cada botellón. Si tomamos los costos promedio del botellón (CPB) por el número de botellones empleados por familia a la semana (#BS) y lo multiplicamos para el número de semanas al año (#SA), podremos obtener el costo de botellones al año.

$$\text{gasto de botellones al año} = CPB \cdot \#BS \cdot \#SA \quad (3.4)$$

$$\text{gasto de botellones al año} = \$ 2.68 \cdot 2.8 \cdot 52 = USD \$ 388.54$$

Al emplear un sistema como el que se propone, se podría ahorrar hasta USD \$ 388.54 al año en botellones para una familia promedio de 4 a 6 miembros.

#### 3.4.2. Beneficio económico en ahorro de planilla de agua

Teniendo en cuenta el consumo promedio mensual de la vivienda modelo que es de 31.5 m<sup>3</sup> podemos estimar el costo que una familia paga al mes empleando el sistema de facturación de la empresa que proporciona el servicio de agua potable y alcantarillado. Interagua que es la empresa encargada de dar el suministro de agua a las viviendas de Guayaquil tiene un sistema fijado por rangos de consumo, es decir, se cobra a la persona según los metros cúbicos consumidos y se cobrará por cada uno de los consumos superados. Adicional, se cobra otros valores fijos basado en el consumo final como el

cargo fijo por diámetro de guía, el alcantarillado que corresponde al 80% del valor de agua potable y el CEM (Contribución Especial de Mejoras) que es un rubro empleado para futuras mejoras y obras de la ciudad. Sabiendo el consumo, las especificaciones de la vivienda y los valores empleados por Interagua para el cobro de planillas (Ver Apéndice A.1) se obtiene una estimación del monto de facturación mensual de la vivienda modelo.

**Tabla 3.4 Facturación de planilla de agua sin uso del sistema de captación de aguas luvias.**

Rango de consumo [m <sup>3</sup> ]	Costo [USD/m <sup>3</sup> ]	Consumo promedio al mes [m <sup>3</sup> ]	Total USD
0-15	\$ 0.334	15.00	\$ 5.01
16-30	\$ 0.495	15.00	\$ 7.43
31-60	\$ 0.701	1.50	\$ 1.05
Total consumo al mes		31.50	\$ 13.49
Diámetro de la guía: ½	\$ 1.360		\$ 1.36
Alcantarillado			\$ 10.79
CEM			\$ 1.65
Total planilla			\$ 27.29

Tomando en cuenta el ahorro que se generara producto del sistema de captación de 3.7 m<sup>3</sup> al mes, se generaría una reducción del consumo de agua promedio de 31.5 m<sup>3</sup> a 27.8 m<sup>3</sup> de agua durante los meses de lluvia.

**Tabla 3.5 Facturación de planilla de agua empleando el sistema de captación de aguas luvias.**

Rango de consumo [m <sup>3</sup> ]	Costo USD	Consumo promedio al mes [m <sup>3</sup> ]	Total USD
0-15	\$ 0.334	15.00	\$ 5.01
16-30	\$ 0.495	12.80	\$ 6.34
31-60	\$ 0.701	0.00	\$ -
Total consumo al mes		27.80	\$ 11.35
Diámetro de la guía: ½	\$ 1.360		\$ 1.36
Alcantarillado			\$ 9.08
CEM			\$ 0.62
Total planilla			\$ 22.41

Con los datos provistos tenemos un ahorro mensual de USD \$ 4.88. Esto representa una reducción del 18% en los valores de la planilla de consumo mensual. Si tenemos en cuenta que el sistema operará 5 de los 6 los meses de invierno (enero a mayo), tenemos un ahorro anual de USD \$ 24,41.

### 3.4.3. Cálculo del TIR y el VAN.

Teniendo en cuenta el ahorro anual generado en botellones (USD \$ 388.54) y en la planilla de agua (USD \$ 24.41) obtenemos un valor final de USD \$ 412.95. Esto representa el ahorro anual que se obtendría con el sistema. También debemos tener en cuenta el costo de mantenimiento del sistema que serían Costos de Operación Anual de USD \$ 69.90 que representa gastos y el valor de la inversión inicial de USD \$ 1192.25. Con estos valores determinamos la Tasa interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) que funcionan como indicadores de la viabilidad financiera del proyecto.

**Tabla 3.6 Análisis de la inversión anual.**

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	-\$ 1.192,25					
Costo de Operación Anual		-\$ 69,90	-\$ 69,90	-\$ 69,90	-\$ 69,90	-\$ 69,90
Ahorro		\$ 412,95	\$ 412,95	\$ 412,95	\$ 412,95	\$ 412,95
Total	-\$ 1.192,25	\$ 343,05	\$ 343,05	\$ 343,05	\$ 343,05	\$ 343,05

Para determinar el VAN empleamos una tasa de interés del 12% con la que obtenemos.

$$VAN = -I + BNA = \$44.38 \quad (3.5)$$

Donde:

I = Es el valor de la inversión inicial [USD \$]= 1 192.25

FNE =Flujo de caja en el periodo i [USD \$] = 343.05

r =Tasa de interés sobre el Proyecto [%] = 12

El TIR es el valor de la tasa de interés que permite que el beneficio neto actualizado (*BNA*) del proyecto sea igual al monto invertido. Esto significa que no se presentan ganancias sino únicamente la recuperación de la inversión inicial (*I*) dentro del periodo establecido. Para esto empleamos la misma fórmula del VAN (3.5) y despejamos el TIR.

$$VAN = 0 = -1.192.25 + \frac{343,05}{(1 + TIR)^1} + \frac{343,05}{(1 + TIR)^2} + \frac{343,05}{(1 + TIR)^3} + \frac{343,05}{(1 + TIR)^4} + \frac{343,05}{(1 + TIR)^5}$$

$$TIR = 13\%$$

Sabemos que si el  $VAN < 0$  el proyecto no es rentable, pero como se obtuvo un valor de USD \$ 44.38 se dice que el proyecto es rentable. Una explicación detallada de la obtención del TIR Y EL VAN se puede observar en el Apéndice D.9.

### 3.5. Factibilidad del proyecto a nivel nacional

Debido a que se necesita cubrir 3700 litros de agua al mes para los cinco primeros meses del año, decimos que, requerimos en total 18500 litros de agua al año. Basándonos en la ecuación 2.1 para el potencial de recolección anual, además de considerar los mismos parámetros iniciales de la casa modelo (área de captación y eficiencia de recolección, e), se tiene que, para valores de precipitación anual menores a  $322 \text{ mm/m}^2$ , el sistema no es capaz de recolectar la cantidad de agua requerida de 18500 litros al año.

Teniendo en cuenta las zonas con igual o menor valor de precipitación anual de  $322 \text{ mm/m}^2$  dados por el mapa del Apéndice C.2, se realizó el mapa de la Figura 3.6 para mostrar las zonas no factibles para la implementación del proyecto considerando características similares a la de la casa modelo.

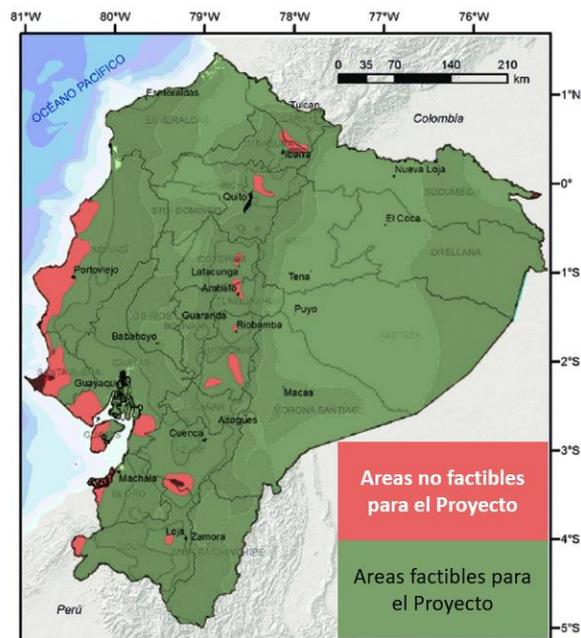


Figura 3.6 Mapa de zonas factibles para el proyecto para condiciones similares a la casa modelo. (Adaptado de: Espinosa, 2021).

### **3.6. Proceso de Producción por Rotomoldeo del Tanque**

Tal como se mencionó en el capítulo 2, parte fundamental de este sistema son los tanques elaborados por rotomoldeo.

Debido a que los moldes rotatorios para producir estos tanques tienen que soportar altas presiones, es costoso producir los tanques utilizando otras técnicas de fabricación, y en algunas localidades la compra de contenedores de almacenamiento de agua se hace más difícil debido al escaso aprovechamiento de las técnicas de rotomoldeo (Villao & Castillo, 2016).

Esto deja a la industria del plástico con limitadas opciones para producir diferentes tipos de tanques y una libertad reducida en la elaboración de diseños y modelos, por lo que se ve en la necesidad de fabricar contenedores a través de métodos convencionales (soplado y termoformado), lo que resulta en un producto costoso en comparación con el rotomoldeo (Villao & Castillo, 2016).

Es por esto por lo que, es importante conocer el proceso de producción de tanques por rotomoldeo para que más empresas y personas se sumen a la fabricación y comercialización de estos tipos de recipientes plásticos que proporcionan una gran ventaja para esta clase de proyectos sostenibles.

El rotomoldeo es un proceso de fabricación en el cual se emplea el calor y un molde rotatorio cargado de material plástico para la formación de elementos de una sola pieza. Este proceso se emplea principalmente en la generación de estructuras huecas, ya que el proceso de giro del molde permite que el material plástico se adhiera y riegue sobre las paredes de este, dejando una estructura hueca con un grosor de pared uniforme en su interior (Ver Figura 3.7).

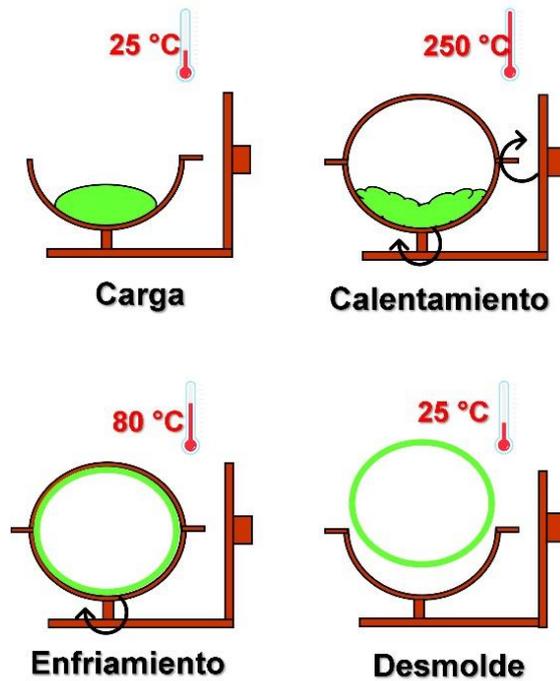


Figura 3.7 Etapas del proceso de rotomoldeo.  
(Adaptado de: Beltrán y Marcilla, 2012)

### Requerimientos básicos para la producción de tanques por rotomoldeo

Tabla 3.7 Requerimientos básicos para la producción de tanques por rotomoldeo

Materia Prima	En combinación con los aditivos, son los encargados de dar las propiedades mecánicas y químicas que el producto final necesita para ser vendido al público. La resina más utilizada es el polietileno de alta densidad PEAD, y los aditivos que comúnmente se añaden son: bloqueadores de rayos UV, antioxidantes, rellenos y pigmentos para dar color al tanque.
Máquinas	Es la encargada de proporcionar la rotación del molde a través de dos ejes y establecer su relación de velocidades a fin de que la resina se adhiera uniformemente en las paredes del molde. Adicional, algunas máquinas requieren de un gran espacio de trabajo debido a la inclusión de etapas de calentamiento y enfriamiento individuales con sus respectivos implementos.
Moldes	El molde es una de las partes más importantes del sistema, ya es el encargado de darle la forma y aspecto final al producto. Para esto se requiere que cuente con ciertas condiciones como: ángulo de desmoldeo, conductividad térmica, intercambio de aire, entre otros.
Condiciones de Trabajo	Para llevar el producto a su forma final se requieren ciertas condiciones preestablecidas de trabajo como temperatura y tiempo. El no respetar estas condiciones podría hacer que el producto final salga con defectos que hagan que posteriormente sea rechazado por no cumplir estándares de calidad como aspectos visuales o propiedades mecánicas.
Personal Capacitado	El operador responsable debe estar en capacidad de conocer el funcionamiento de la máquina y así poder fijar las condiciones de

	trabajo adecuadas. así como realizar correctamente los procesos de carga dentro del molde. desmoldeo y acabado final de la pieza.
Fuente de energía	Debido a que el molde metálico se debe calentar para fundir la materia prima dentro de la primera etapa. se requiere de una fuente de energía externa que actúe como combustible. Comúnmente se ha utilizado diésel o propano. Sin embargo. en los últimos años el gas natural ha sido la opción favorita para trabajar. Este último puede provenir de depósitos al granel ubicados en los exteriores de la planta.

**Tabla 3.8 Comparación de varios procesos de fabricación de plásticos (Fuente: Crawford y Kearns. 2003)**

Factor	Soplado	Termoformado	Rotomoldeo
Disponibilidad de material plástico	Limitado	Amplio	Limitado
Materia prima	Pellets	Chapas	Polvo/Líquido
Materiales del molde	Acero/Aluminio	Aluminio	Acero/Aluminio
Presión de molde	<1 MPa	<0.3 MPa	<0.1 MPa
Costo de molde	Alto	Moderado	Moderado
Uniformidad del grosor en las paredes	No uniforme	No uniforme	Uniforme
Insertos	Si	No	Si
Esfuerzos residuales	Moderado	Alto	Bajo
Detalle de la pieza	Muy bueno	Bueno. con presión	Aceptable
Gráficos en el molde	Si	Si	Si
Tiempo de fabricación	Rápido	Rápido	Lento
Mano de obra intensiva	No	Moderado	Si

Para más información del proceso de rotomoldeo revisar Apéndice H.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

Es factible la implementación técnica y económica de un sistema de captación de aguas lluvias de uso residencial en la ciudad de Guayaquil. Este sistema presenta una alternativa sostenible para reemplazar el agua potable de uso doméstico en actividades secundarias y consumo humano por otras fuentes naturales de agua, como lo es el agua de lluvia.

Es posible implementar el sistema de captación de aguas lluvias utilizando componentes y accesorios del mercado local, evitando costos adicionales de importación y alcanzando una rápida y fácil adquisición. Así mismo, se seleccionó los componentes del sistema con base a las necesidades arquitectónicas y de consumo de agua del usuario. Sin embargo, la aplicación del sistema se limita por otros factores como, por ejemplo, el índice de precipitación de la zona.

Basado en los resultados de la Figura 3.6 que muestra el mapa de las zonas donde es factible la implementación del proyecto con características similares a la de la casa modelo proyecto (área de captación, promedio anual de lluvias, material de techo, espacio de instalación, etc.), se concluye que, el proyecto es técnicamente factible para precipitaciones mayores a 322 mm/m<sup>2</sup> en aproximadamente el 90% del área del Ecuador continental.

Para la vivienda modelo empleada se logró reducir 3700 litros de agua al mes durante los cinco primeros meses de lluvia, que equivalen a USD \$ 4.88 o 18% menos a la planilla de agua durante estos meses. Esto se convierte en un ahorro anual de USD \$ 24.41. Adicional a este valor, se tiene un ahorro de USD \$ 388.54 al año reemplazando el consumo de botellones por el sistema purificación de cinco etapas que permite obtener agua a NTU<1 haciéndola apta para beber. Finalmente, sumando estas cantidades y considerando gastos por mantenimiento se obtiene un ahorro total anual de USD \$343.05.

El proyecto logró obtener una tasa interna de Retorno (TIR) del 13% y el Valor Actual Neto (VAN) de USD \$ 44.38. Con estos valores se marca la viabilidad del proyecto ya que en un periodo de 5 años se logra obtener no sólo la recuperación total de la inversión inicial de USD \$ 1192.25, sino que, también produce ganancias para el propietario en forma de ahorro generado por el sistema.

En este proyecto se logró cumplir con las normas técnicas establecidas en el punto 2.2, tales como: ISO 46001:2019, NTE INEN 1 108:2011, así como estándares de la Organización Mundial de la Salud como “*Guidelines for drinking-water quality*”. Estas fueron aplicadas a lo largo del proceso de diseño, así como en la investigación inicial para el desarrollo del sistema.

Dada la escasa información y normas que sirvan de estándares para la fabricación de tanques por rotomoldeo a nivel nacional, se llevó a cabo un proceso de análisis de elementos finitos del tanque a utilizar, con el fin de determinar sus valores máximos de esfuerzo de Von-Misses, deformación y factor de seguridad para un material de fabricación dado (polietileno de alta densidad), donde los resultados obtenidos van acordes a los establecidos por otras normas extranjeras.

De igual modo, para lograr una mayor participación en la elaboración de estos tanques por rotomoldeo por parte de empresas plásticas, se obtuvo su proceso de producción descrito en el capítulo 3, y, comparándolo frente a otros procesos de fabricación de plásticos, tales como soplado y termoformado, se concluyó que, el rotomoldeo es el método de fabricación más sencillo y económico para la elaboración de tanques plásticos.

Finalmente, con la aplicación del proyecto estamos cumpliendo con varias metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, principalmente, el Objetivo 6 “Agua Limpia y Saneamiento”, por medio de un manejo eficiente de los recursos hídricos, contribuyendo así a un mejor futuro y bienestar social. Otros de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de los cuales nuestro proyecto cumple varias de sus metas son el Objetivo 11 “Ciudades y Comunidades Sostenibles” y el 12 “Producción y consumo responsable”.

## 4.2. Recomendaciones

En este sistema se han empleado elementos que permiten aprovechar las aguas lluvias mediante un sistema de recolección, sin embargo, está enfocado en actividades secundarias. Para poder darle un mayor alcance al sistema y poder aprovechar aún más el agua de lluvia se han planteado algunas posibles mejoras que se describen a continuación:

El tanque de agua posee salidas para aprovechar el agua almacenada en tareas de limpieza y riego que se realizan de forma manual. No obstante, se lograría un mejor uso del agua si se emplea métodos de riego automatizados e inteligentes, como sensores de humedad capaces de detectar las condiciones específicas del suelo y los instantes en los que se requiere regar y dejar de regar las plantas, evitando así un desperdicio de agua por parte del sistema.

Una forma de conocer la cantidad de agua disponible en el tanque de manera visual sería por medio de un sensor de nivel. Por lo cual, se recomienda utilizar este tipo de instrumentos que obtengan la medición de forma directa y sean fáciles de instalar e interpretar, como un flotador.

Si se desea aumentar la capacidad de almacenamiento, se recomienda acoplar otro tanque de semejantes características por medio de un tubo de unión que permita almacenar esa cantidad extra de agua que cae en los días donde la lluvia es más fuerte, permitiendo así aprovechar el exceso de agua en otras actividades.

Se recomienda realizar revisiones periódicas a los filtros y sistema en general para inspeccionar su estado, posibles atascos o fugas que puedan ser perjudiciales y afecten al normal desenvolvimiento del sistema.

# BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, I. (22 de Marzo de 2018). *En Ecuador se gasta 40% más agua que el promedio de la región*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/ecuador-gasto-agua-cifras-latinoamerica.html>
- Banco Mundial. (2018). *bancomundial.org*. Obtenido de [bancomundial.org: https://datos.bancomundial.org/indicador/ag.lnd.prcp.mm?locations=EC&most\\_recent\\_value\\_desc=true&view=map](https://datos.bancomundial.org/indicador/ag.lnd.prcp.mm?locations=EC&most_recent_value_desc=true&view=map)
- Beltrán M. y Marcilla A. (2012). Tecnología de polímeros. *Tecnología de polímeros*. España: Universidad de Alicante.
- Cengel Y. y Simbala J. (2006). Mecanica de fluidos Fundamentos y Aplicaciones (1ra ed Vol.1). *Kindle*. McGraw-Hill.
- COCOI S.A. (Febrero de 2012). SANDRA. *Plano de obra*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: PORTONOVO.
- Defensoría del pueblo. (2016). *1.2 Precios y tarifas equitativas (asequibilidad)*. Obtenido de <https://servicios.dpe.gob.ec/https://servicios.dpe.gob.ec/unidad-2-ejercicio-de-derechos-en-cada-servicio-publico/capitulo-2-saneamiento/precios-y-tarifas-equitativas-asequibilidad/#:~:text=Los%20hogares%20en%20Guayaquil%20tienen,de%20s%20us%20ingresos%20mensuales%20promedio>
- El Universo. (16 de febrero de 2020). *Guayaquil y Quito son las únicas ciudades de Ecuador que tienen sello de calidad en su agua potable*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/https://www.eluniverso.com/noticias/2020/02/14/nota/7739547/agua-potable-estadisticas-ecuador-uso-contaminacion/>
- Espinosa, J. (2021). *Pluviometría media anual en el Ecuador*. *ResearchGate*. . Obtenido de [researchgate.net: https://www.researchgate.net/figure/Figura-89-Pluviometria-](https://www.researchgate.net/figure/Figura-89-Pluviometria-)

media-anual-en-el-Ecuador-Figura-procesada-a-partir-de-la-  
capa\_fig3\_360783844

Evans. (06 de febrero de 2020). Obtenido de grupoloshidroscd.ec:  
[https://grupoloshidroscd.ec/wp-content/uploads/2020/02/purificador-ultravioleta-  
evans-riobamba-los-hidros-agua-potable-alcantairllado-riego.pdf](https://grupoloshidroscd.ec/wp-content/uploads/2020/02/purificador-ultravioleta-evans-riobamba-los-hidros-agua-potable-alcantairllado-riego.pdf)

Evans. (s.f.). *evans.com.co*. Obtenido de *evans.com.co*:  
<https://www.evans.com.co/categoria-producto/filtracion/domesticos/>

GeoPortal. (2017). Obtenido de *geoportaligm.gob.ec*:  
<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/visualizador/>

Głogowska, K. (March de 2018). *Study on the Properties and Structure of Rotationally Moulded Linear Low-Density Polyethylene Filled with Quartz Flour*. Obtenido de *researchgate.net*:  
[https://www.researchgate.net/publication/359289364\\_Study\\_on\\_the\\_Properties\\_ and\\_Structure\\_of\\_Rotationally\\_Moulded\\_Linear\\_Low-  
Density\\_Polyethylene\\_Filled\\_with\\_Quartz\\_Flour](https://www.researchgate.net/publication/359289364_Study_on_the_Properties_and_Structure_of_Rotationally_Moulded_Linear_Low-Density_Polyethylene_Filled_with_Quartz_Flour)

Grafman, L. (2017). *To Catch the rain*. Obtenido de *upload.wikimedia.org*:  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/81/To\\_Catch\\_the\\_Rain.pdf](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/81/To_Catch_the_Rain.pdf)

INEN. (Junio de 2011). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 108:2011. *Agua Potable. Requisitos*. Quito Ecuador , Pichincha , Ecuador : Instituto ecuatoriano de Normalización.

INOCAR. (2022). *Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada*. Obtenido de *inocar.mil.ec*: <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/precipitacion-en-guayaquil>

Interagua. (2017). *www.interagua.com.ec*. Obtenido de *www.interagua.com.ec*:  
<https://www.interagua.com.ec/preguntas-frecuentes>

Kearns, M. y Crawford, R. (2003). *Practical Guide to Rotational Moulding*. Shawbury,,: Rapra Technology Limited.

Kywi. (s.f.). <https://kywitiendaenlinea.com>. Obtenido de <https://kywitiendaenlinea.com/product/purificador-luz-ultrav-5-etapas-c-acc-evans/>

López, K. A. (Agosto de 2017). Estudio de factibilidad para la implementación de dos sistemas diseñados para el manejo eficiente de agua en el edificio earme de la Escuela Politecnica Nacional. *Trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero mecánico*. Quito, Pichincha, Ecuador.

Mecatrónica. (19 de abril de 2022). *Youtube*. Obtenido de youtube video "Fábrica de fabricación de tanques de agua": [https://www.youtube.com/watch?v=32ksXcFsbx8&ab\\_channel=MECATR%C3%93NICA](https://www.youtube.com/watch?v=32ksXcFsbx8&ab_channel=MECATR%C3%93NICA)

Murillo, S. (28 de Agosto de 2020). *El Telégrafo*. Obtenido de [www.eltelegrafo.com.ec](http://www.eltelegrafo.com.ec): <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/agua-recurso-reutilizarse>

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). [www.un.org](http://www.un.org). Obtenido de UN: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Plásticos Carmen. (20 de noviembre de 2020). *Plásticos Carmen*. Obtenido de ¿Cuáles son las diferencias entre un tanque bicapa y tricapa?: <https://plasticoscarmen.com/cuales-son-las-diferencias-entre-un-tanque-bicapa-y-tricapa/>

Plastigama Wavin. (24 de enero de 2019). [plastigamawavin.com](http://plastigamawavin.com). Obtenido de [plastigamawavin.com](http://plastigamawavin.com) [Ficha técnica]: <https://plastigamawavin.com/wp-content/uploads/2019/08/Tanques-Triptico-2019.pdf>

Plastigama Wavin. (s.f.). *Canales y Bajantes de PVC. [Catálogo de productos]*. Obtenido de <https://www.ditecna.com.ec/wp-content/uploads/2020/08/PGP-1-Catalogo-Canales-y-Bajantes-de-PVC-Plastigama.pdf>

Ramírez, P. (26 de 09 de 2022). *Van y TIR: Concepto, diferencias y cómo calcularlos*. Obtenido de [economia3](http://economia3.com): <https://economia3.com/van-tir-concepto-diferencias-como-calcularlos/>

Rodríguez R. (2004). Composición química de las precipitaciones, deposición de sales y evaluación de la recarga en la región oriental de Cuba. *Boletín Geológico y Minero*, págs. 341-356.

Rotoplas Agro. (26 de abril de 2021). *Rotoplas Agro*. Obtenido de ¿Qué diferencia hay entre los colores de un tanque de agua?: <https://rotoplas.com.ar/agroindustria/que-diferencia-hay-entre-los-colores-de-un-tanque-de-agua/#:~:text=Tanque%20de%20agua%20blanco&text=Los%20tanques%20de%20agua%20de%20este%20color%20suelen%20ser%20verticales,mantiene%20mejor%20las%20temperaturas%20baj>

Rotoplas. (s.f.). *Sistema de Captación de Agua de Lluvia*. Obtenido de [rotoplascentroamerica.com](https://rotoplascentroamerica.com/sistema-de-captacion-de-agua-de-lluvia/): <https://rotoplascentroamerica.com/sistema-de-captacion-de-agua-de-lluvia/>

Sarango, C. (2012). Mejoramiento de una Línea de Producción de Tanques Rotomoldeados Utilizando Técnicas de Producción Esbelta. *Tesis de Grado*. Guayaquil, Ecuador.

Secretaría de cultura, recreación y deporte. (2022). [www.culturarecreacionydeporte.gov.co](http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co). Obtenido de [www.culturarecreacionydeporte.gov.co](http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co): <https://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/es/bogotanitos/biodiversidad/la-lluvia/#:~:text=Los%20cient%C3%ADficos%20y%20expertos%20del,manera%20r%C3%A1pida%20a%20la%20tierra>

Sorgato, V. (14 de Noviembre de 2015). *Ecuador consume más agua en la región*. Obtenido de El Comercio: <https://especiales.elcomercio.com/planeta-ideas/planeta/noviembre-14-del-2015/ecuador-consume-mas-agua-en-la-region>

Tecno converting Engineering. (s.f.). [www.tecnoconverting.com](http://www.tecnoconverting.com). Obtenido de [www.tecnoconverting.com](http://www.tecnoconverting.com): <https://www.tecnoconverting.com/technical-articles/what-is->



# APÉNDICES

## APÉNDICE A: Tablas de valores empleados.

### Apéndice A.1. Valores por consumo de agua en Guayaquil registrados por Interagua (Interagua, 2017)

AGUA POTABLE		CARGO FIJO		CEM
Rango de consumo [m <sup>3</sup> ]	Valor por m <sup>3</sup> [USD]	Diámetro de la guía [pulg]	Valor [USD]	Valor [USD]
0-15	0.334	½	1.36	0.27
16-30	0.495	¾	9.04	0.62
31-60	0.701	1	23.23	1.65
61-100	0.954	1 ½	40.67	2.61
101-300	1.071	2	40.67	8.92
301-2500	1.699	3	67.79	16.47
2501-5000	2.199	4	203.34	54.20
5001 o más	3.658	6 o más	271.11	219.54

Nota. Estas tarifas se ajustan trimestralmente de acuerdo con el índice de precios al consumidor. energía eléctrica y remuneración básica unificada. con base en el Reglamento de Estructura Tarifaria Vigente. Por otro lado. las siglas CEM corresponden a Contribución Especial de Mejoras

### Apéndice A.2. Registro de mm de lluvia para Base Naval Sur del INOCAR en Guayaquil Ecuador (INOCAR. 2022)

Mes	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Promedio mensual desde el 2017	Promedio normal según el INOCAR
Enero	186.60	29.80	327.70	43.30	173.60	N/D*	152.20	168.90
Febrero	289.10	425.10	318.80	382.30	172.90	1.00	264.87	289.10
Marzo	271.00	192.50	432.80	173.00	200.50	199.30	244.85	271.00
Abril	425.20	12.80	39.60	111.70	42.60	11.80	107.28	180.40
Mayo	172.00	55.00	54.10	0.70	10.00	0.00	48.63	56.40
Junio	0.70	0.30	1.90	7.70	0.80	0.30	1.95	25.00
Julio	0.00	0.10	0.20	1.10	0.00	N/D*	0.28	12.20
Agosto	0.00	0.50	0.00	N/D*	N/D*	N/D*	0.17	0.30
Septiembre	0.00	0.00	0.00	N/D*	0.30	N/D*	0.08	1.00
Octubre	0.00	0.00	N/D*	N/D*	0.00	N/D*	0.00	0.90
Noviembre	0.00	0.00	N/D*	0.00	1.90	N/D*	0.48	20.10
Diciembre	0.70	31.80	N/D*	0.80	84.50	N/D*	29.45	47.00
Total Anual	1345.3	747.9	1175.1	720.6	687.1	212.4	850.23	1072.3

Nota: (N/D\*) Información no disponible fuente

### Apéndice A.3. Tabla de valores posibles para eficiencia de recolección. (Grafman)

Tipo de techo	Rango de valores posibles
Tejado convencional de metal. teja o fibra de vidrio	0.95-0.90
Techo de concreto o asfalto	1.00-0.90
Techo de grava	0.70-0.25
Techo con vegetación o arenoso	0.10-0.05

**Apéndice A.4. Tabla de valores para el agua potable. (Adaptado de (INEN, 2011) )**

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN*	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 1)
Cobre, Cu	mg/l	2
Cromo, Cr (Cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO <sub>3</sub>	mg/l	50
Nitritos, NO <sub>2</sub>	mg/l	0,2
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total $\alpha$	Bq/l	0,1
Radiación total $\beta$	Bq/l	1
Selenio, Se	mg/l	0,01
1) Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos		
* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: 210Po, 224Ra, 226Ra, 232Th, 234U, 238U, 239Pu		
** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: 60Co, 89Sr, 90Sr, 129I, 131I, 134Cs, 137Cs, 210Pb, 228Ra		

## APÉNDICE B: Encuesta sobre el uso de botellones.

Encuesta de uso de botellones de agua para familias de 4 a 6 personas.

diego19985454@gmail.com (no compartidos)  
[Cambiar de cuenta](#)

\*Obligatorio

¿Empleas botellones o Garrafones de agua de 20 litros en tu hogar? \*



Si

No

### Apéndice B.1. Encuesta realizada para determinar datos del uso de botellones en el hogar imagen 1

Nota: La encuesta fue realizada a un total de 107 familias de entre 4 a 6 miembros usando la herramienta Google Forms (<https://docs.google.com/forms/u/0/>).

¿Cuántos botellones de agua son empleados por tu familia a la semana? \*

- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- No empleamos botellones de agua en nuestro hogar

¿Cuánto pagan por un botellon de agua de 20 litros? \*

- \$2,50
- \$2,60
- \$2,70
- \$2,80
- \$2,90
- \$3,00
- No empleamos botellones de agua en nuestro hogar
- Otro: \_\_\_\_\_

## **Apéndice B.2. Encuesta realizada para determinar datos del uso de botellones en el hogar imagen 2**

Nota: La encuesta fue realizada a un total de 107 familias de entre 4 a 6 miembros usando la herramienta Google Forms (<https://docs.google.com/forms/u/0/>).

107 respuestas

Se aceptan respuestas

Resumen

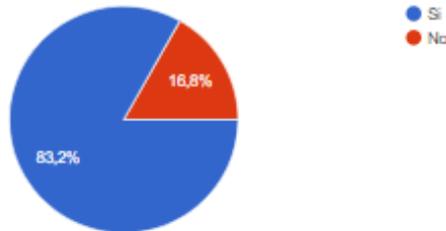
Pregunta

Individual

¿Empleas botellones o Garrafones de agua de 20 litros en tu hogar?

Copiar

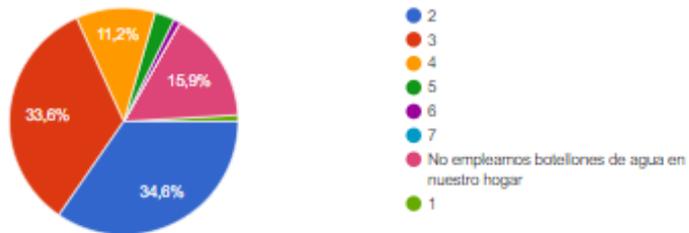
107 respuestas



¿Cuántos botellones de agua son empleados por tu familia a la semana?

Copiar

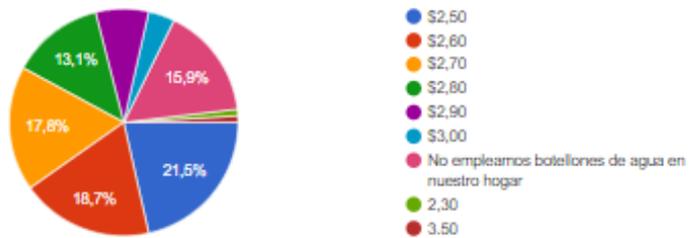
107 respuestas



¿Cuánto pagan por un botellon de agua de 20 litros?

Copiar

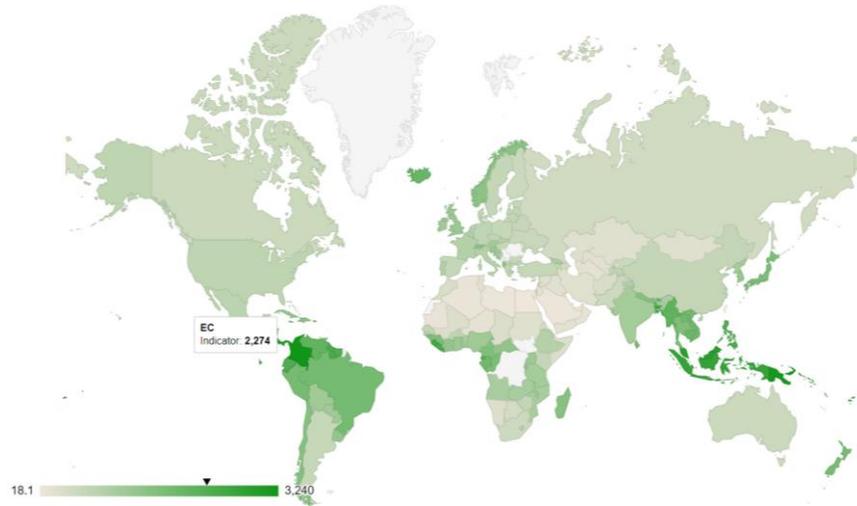
107 respuestas



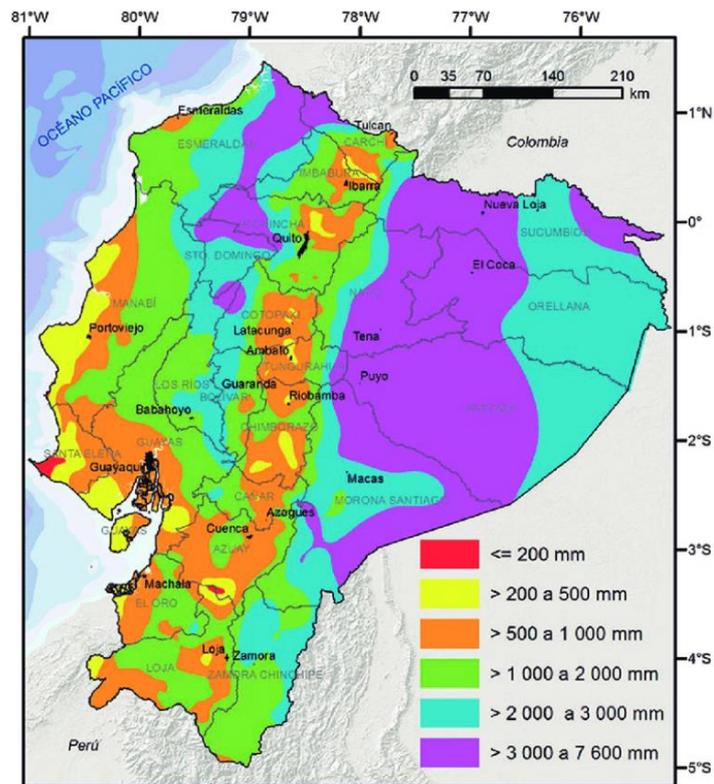
### Apéndice B.3. Resultados de la encuesta realizada.

Nota: La encuesta fue realizada a un total de 107 familias de entre 4 a 6 miembros usando la herramienta Google Forms (<https://docs.google.com/forms/u/0/>).

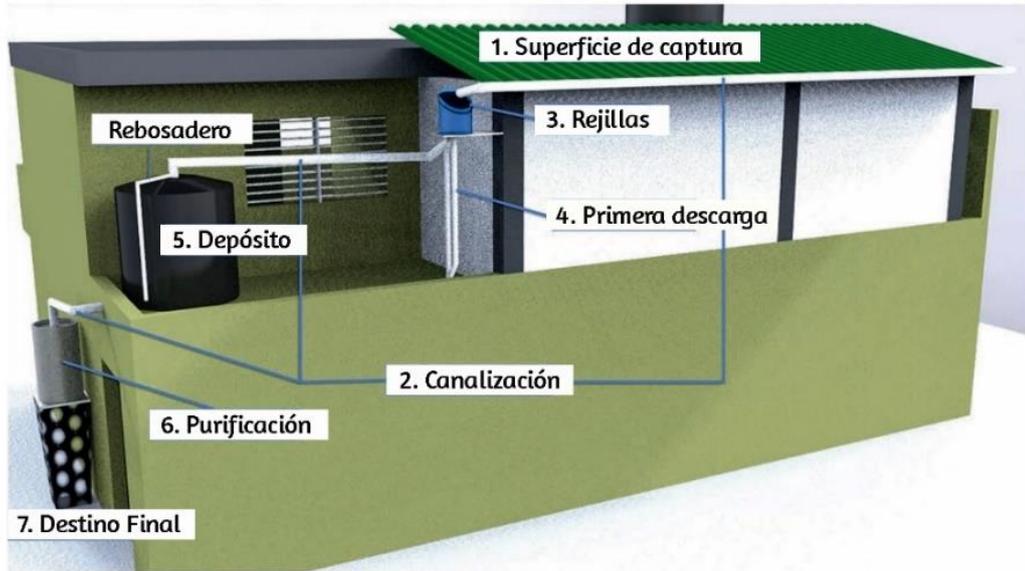
## APÉNDICE C: Mapas y Figuras



Apéndice C.1. Mapa de comparación de promedio anual de lluvia a nivel mundial. (Banco Mundial, 2018)



Apéndice C.2. Mapa de Pluviometría anual del Ecuador (Espinosa, 2021).



**Apéndice C.3. Componentes de un Sistema de Captación de Aguas Lluvias. (Grafman, 2017)**

## APÉNDICE D: Cálculos

### Apéndice D.1 Potencial de Recolección para el mes de febrero.

$$V = R \cdot A \cdot k \cdot e$$

Donde:

$V$  = Potencial de recolección [L/mes]

$R$  = Cantidad de precipitaciones [mm/mes] (Ver Apéndice A.2)

$A$  = Área de recolección horizontal [m<sup>2</sup>] = 63.8

$k$  = Factor de conversión requerido para llevar la medición a litros [L/m<sup>3</sup>] = 1000

$e$  = Eficiencia de recolección de la superficie [adimensional] = 0.90

$$V_{febrero} = \frac{264.87}{1000} \cdot 63.8 \cdot 1000 \cdot 0.90$$

$$V_{febrero} = 15208.64 \frac{L}{mes}$$

### Apéndice D.2 Cálculo Volumen de Primera Descarga.

$$V_{ff} = - \frac{\ln\left(\frac{\text{Turbiedad objetivo}}{\text{Turbiedad del techo}}\right)}{\lambda} \cdot A \cdot k$$

Donde:

$V_{ff}$  = Volumen de primera descarga [L]

$Turbiedad\ objetivo$  = Turbiedad esperada luego de la primera descarga [NTU] = 20.

$Turbiedad\ del\ techo$  = Turbiedad con la que sale el agua del techo [NTU] = 80.

$\lambda$  = Decaimiento exponencial [mm<sup>-1</sup>] = 1.5.

$A$  = Área de captación [m<sup>2</sup>] = 63.8

$k$  = Factor de conversión para llevar a litros [1  $\frac{L}{mm \cdot m^2}$ ]

$$V_{ff} = -\frac{\ln\left(\frac{20}{80}\right)}{1.5} \cdot 63.8 \cdot 1$$

$$V_{ff} = 58.96 \text{ l}$$

### Apéndice D.3 Presión en el fondo del tanque

$$P_{\text{máx}} = P_0 + \rho gh$$

$$P = 997 \cdot 9.8 \cdot 1.16$$

$$P = 11334 \text{ Pa} = 0.011 \text{ MPa}$$

### Apéndice D.4 Esfuerzo tangencial tanque

$$\sigma_t = \frac{Pr}{t}$$

$$\sigma_t = \frac{0.011 \cdot 545}{5}$$

$$\sigma_t = 1.19 \text{ MPa}$$

### Apéndice D.5 Factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma_t}$$

$$n = \frac{25}{1.19}$$

$$n = 21$$

### Apéndice D.6 Determinación de la carga de trabajo de la bomba

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_b - h_L = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

Hay que determinar primero las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios  $h_L$ .

$$h_L = \sum_i f_i \frac{(L_{eq.tub} + L_{eq.acc})_i V_i^2}{D_i 2g}$$

Donde:

$h_L$  = Pérdidas por fricción en tuberías y accesorios [m]

$f$  = factor de fricción de la tubería [adimensional]X

$L_{eq. tub}$  = Longitud equivalente de la tubería [m]

$L_{eq. acc}$  = Longitud equivalente de accesorios [m] (*Obtenida de libros y catálogos*)

$V$  = Velocidad del fluido dentro de la tubería [m/s]

$D_i$  = Diámetro interno de la tubería [m]

Para tubería de 1" de plástico:

Longitud:  $L_{eq. tub} = 1.66 \text{ m}$

1 codo 90° - 1":  $L_{eq. acc} = 0.82 \text{ m}$

1 Tee 90° - 1":  $L_{eq. acc} = 0.61 \text{ m}$

$$Re = \frac{4Q}{\pi Dv}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds [adimensional]

Q = Caudal de la tubería [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] = 0.0005 (*Obtenido del caudal máximo de la primera etapa del sistema de purificación. Ver Apéndice H.4*)

D = Diámetro interior de la tubería [m] = 0.0243

$\nu$  = Viscosidad cinemática del agua [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] =  $1.00 \times 10^{-6}$

$$Re = \frac{4(0.0005)}{\pi(24.3 \times 10^{-3})(1.00 \times 10^{-6})}$$

$$Re = 2.6 \times 10^4$$

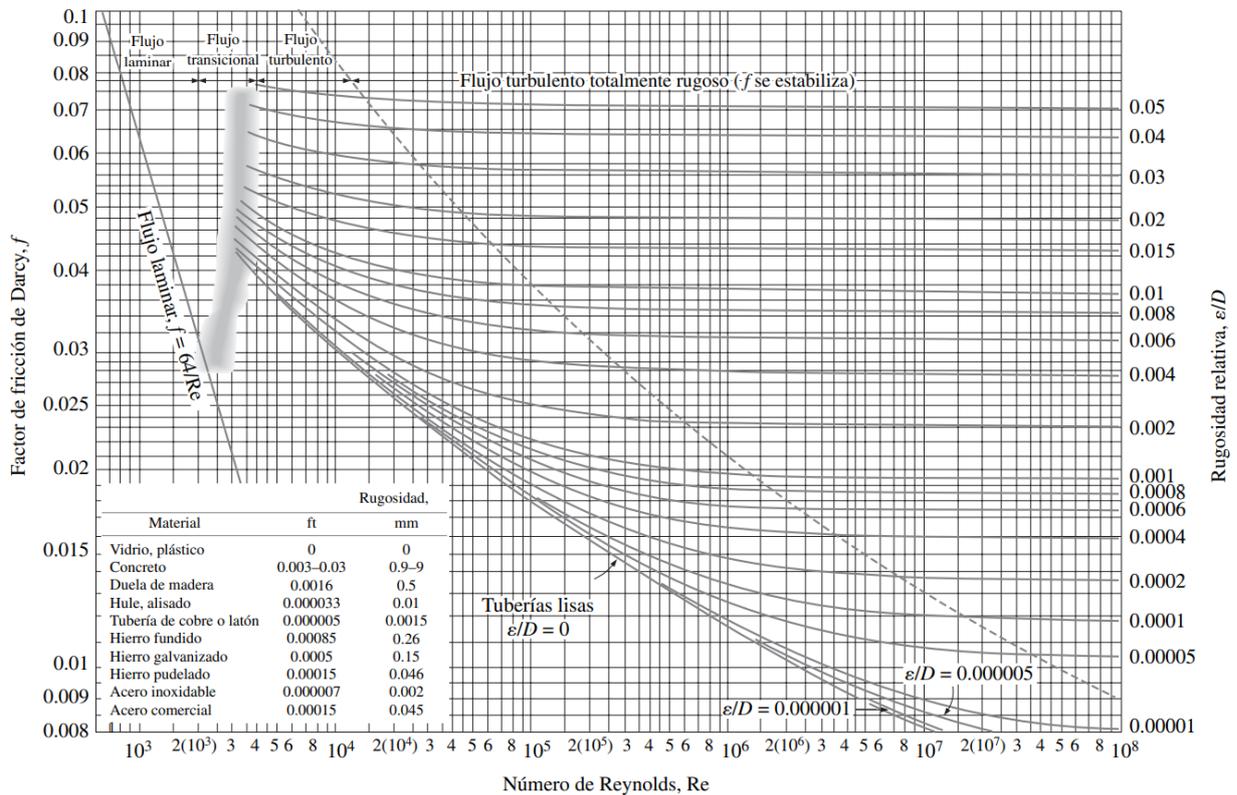
Rugosidad del plástico:  $\varepsilon = 0$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0}{24.3 \times 10^{-3}}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0$$

Con Re y  $\varepsilon/D$ . obtenemos del Diagrama de Moody el factor de fricción.

## Apéndice D.7. Diagrama de Moody (Cengel Y. y Simbala J., 2006)



$$f = 0.024$$

$$h_{L1} = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

$$h_{L1} = 0.024 \cdot \frac{(1.66 + 0.82 + 0.61) 1.08^2}{24.3 \times 10^{-3} \cdot 2 \cdot 9.8}$$

$$h_{L1} = 0.182 \text{ m}$$

Para tubería de ½" de plástico

Longitud:  $L_{eq. tub} = 2.50 \text{ m}$

3 codos 90° - ½":  $L_{eq. acc} = 3 (0.46 \text{ m}) = 1.38 \text{ m}$

1 reductor 1" - ½":  $L_{eq. acc} = 0.23 \text{ m}$

1 Tee de 1/2":  $L_{eq. acc} = 1.01 \text{ m}$

1 reductor 1/2" - 1/4" :  $L_{eq. acc} = 0.28 \text{ m}$

$$Re = \frac{4Q}{\pi Dv}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds [adimensional]

Q = Caudal de la tubería [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] = 0.0005

D = Diámetro interior de la tubería [m] = 0.01388

$\nu$  = Viscosidad cinemática del agua [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] =  $1.00 \times 10^{-6}$

$$Re = \frac{4(0.0005)}{\pi(13.88 \times 10^{-3})(1.00 \times 10^{-6})}$$

$$Re = 4.6 \times 10^4$$

Con Re y  $\epsilon/D$ . obtenemos del Diagrama de Moody el factor de fricción

$$f = 0.021$$

$$h_{L2} = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

$$h_{L2} = 0.021 \cdot \frac{(2.50 + 1.38 + 0.23 + 1.01 + 0.28) 15.54^2}{13.88 \times 10^{-3} \cdot 2 \cdot 9.8}$$

$$h_{L2} = 100.66 \text{ m}$$

Entonces. las pérdidas por fricción son igual a:

$$h_L = h_{L1} + h_{L2}$$

$$h_L = 0.182 + 100.66$$

$$h_L = 100.84 \text{ m}$$

Ahora es posible determinar la carga de trabajo de la bomba  $h_b$

$$\frac{P_1}{\rho g} + h_b - h_L = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

$$h_b = h_L + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 - \frac{P_1}{\rho g}$$

$$h_b = 100.84 + \frac{275790}{997 \cdot 9.8} + \frac{15.54^2}{2 \cdot 9.8} + 0.66 - \frac{11334}{997 \cdot 9.8}$$

$$h_b = 140.89 \text{ m}$$

#### Apéndice D.8. Tabla de Diámetros de Tuberías (Plastigama Wavin, 2019)

Diámetro [pulg]	Espesor [mm]	Diámetro Interior [mm]	Presión de Trabajo [psi]
½	3.73	13.88	420
1	4.55	24.30	320
1 ½	5.08	38.10	240
2	5.54	49.24	200

#### Apéndice D.9 Calculo del TIR y el VAN

Cálculo del VAN

$$VAN = -I + BNA$$

$$VAN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{FNE}{(1+r)^i}$$

Donde:

I = Es el valor de la inversión inicial=\$1192.25

FNE =Flujo de caja en el periodo i=\$343.05

r =Tasa de interés sobre el Proyecto=12%

i=Periodo de tiempo en años=5

$$VAN = -1.192.25 + \frac{343.05}{(1 + 0.12)^1} + \frac{343.05}{(1 + 0.12)^2} + \frac{343.05}{(1 + 0.12)^3} + \frac{343.05}{(1 + 0.12)^4} + \frac{343.05}{(1 + 0.12)^5}$$

$$VAN = \$44.38$$

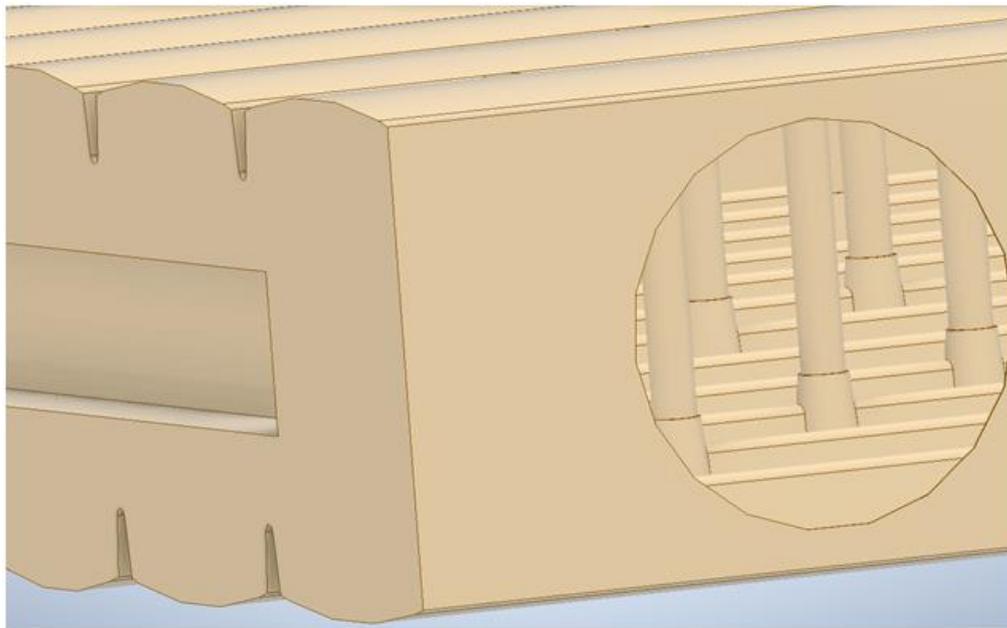
Cálculo del TIR

$$VAN = 0 = -1.192.25 + \frac{343.05}{(1 + TIR)^1} + \frac{343.05}{(1 + TIR)^2} + \frac{343.05}{(1 + TIR)^3} + \frac{343.05}{(1 + TIR)^4} + \frac{343.05}{(1 + TIR)^5}$$

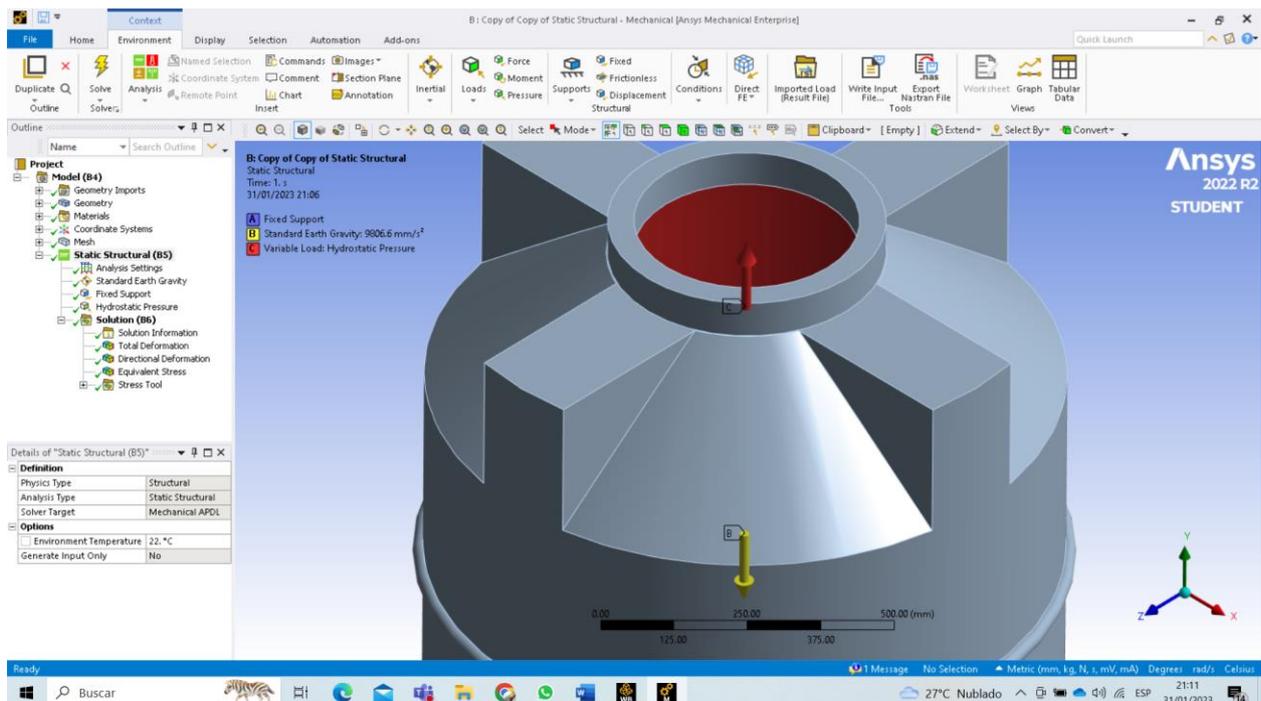
$$0 = -1.192.25(1 + TIR)^5 + 343.05(1 + TIR)^4 + 343.05(1 + TIR)^3 + 343.05(1 + TIR)^2 + 343.05(1 + TIR)^1 + 343.05$$

$$TIR = 13\%$$

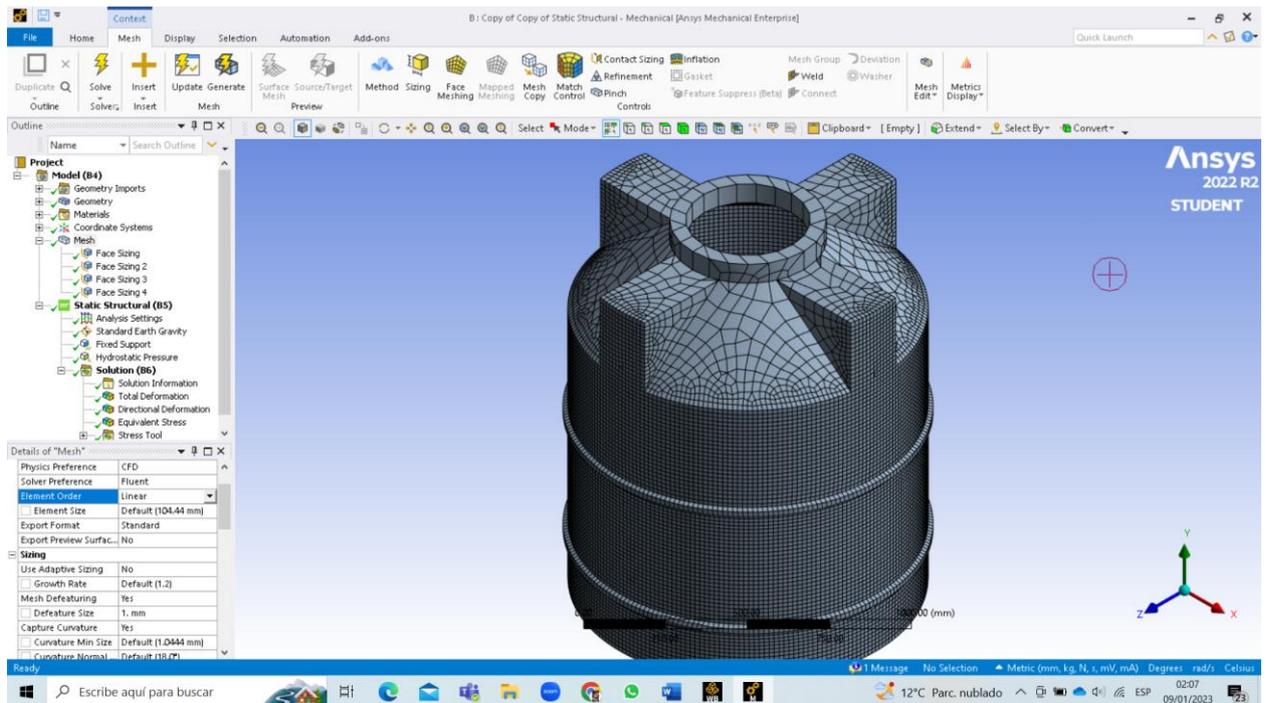
# APÉNDICE E: Modelado de piezas y mallado en Autodesk Inventor y ANSYS®



Apéndice E.1. Kiss – Offs de tanque plano rectangular (Crawford y Kearns. 2003)



Apéndice E.2. Representación de las fuerzas consideradas para el tanque en el análisis ANSYS®.



Apéndice E.3. Mallado Estructural del Tanque en ANSYS®.

## APÉNDICE F: Información técnica de productos empleados

### Purificador con sistema Ultravioleta 5 Etapas. | WP-1

[evans.com.co/producto/ultravioleta-5-etapas/](https://evans.com.co/producto/ultravioleta-5-etapas/)



Apéndice F.1 Ficha técnica filtro de 5 etapas WP-1 marca EVANS p.1

<b>PURIFICADOR</b>	—
<b>Uso del Agua:</b>	Para beber
<b>Cantidad de Etapas de Filtración:</b>	5 Etapas
<b>Etapas de Filtración:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cartucho de Polipropileno PP-10</li> <li>• Cartucho de carbón activado granular GAC-10</li> <li>• Cartucho de carbón activado en bloque CTO-10</li> <li>• Lámpara Ultravioleta LAMPUV-6W</li> <li>• Abrillantador T-33</li> </ul>
<b>Flujo:</b>	3.80 LPM
<b>Presión Mínima:</b>	10.00 PSI
<b>Presión Máxima:</b>	80.00 PSI
<b>Perdida de Presión:</b>	2 PSI
<b>Temperatura Máxima:</b>	44°C
<b>Diámetro de Conexión:</b>	0.25
<b>Material:</b>	Plástico/Acero Inoxidable
<b>Incluye:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kit de instalación</li> <li>• Llave para cambio de Cartuchos</li> </ul>
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>	—

<b>Marca:</b>	EVANS
<b>Garantía:</b>	1
<b>Certificación:</b>	NOM
<b>Dimensiones de Empaque:</b>	40.00 X 20.00 X 48.00 cm
<b>Peso:</b>	8.00 kg

**Usos:** Ofrecen diferentes opciones para tener una excelente calidad de agua en su Hogar; Oficina, Empresa, Negocio, etc.

**Beneficios:** Ahorra espacio y purifica más de 3 botellones diarios. • Sistema de alto ahorro de energía. • Olvídate del botellón.

SKU: WP-1 Categorías: Domésticos, Filtración, PROMOCIONES Etiquetas: filtración, purificador

### **Apéndice F.3 Ficha técnica filtro de 5 etapas WP-1 marca EVANS p.3**

<b>PURIFICADOR</b>	-
<b>Uso del Agua:</b>	USO
<b>Flujo:</b>	30.00 LPM
<b>Presión Mínima:</b>	8.00 PSI
<b>Presión Máxima:</b>	125.00 PSI
<b>Perdida de Presión:</b>	2
<b>Temperatura Máxima:</b>	44 C
<b>Material:</b>	Polipropileno Espumado
<b>Duración del cartucho:</b>	2 a 6 meses
<b>INFORMACION COMERCIAL</b>	-
<b>Marca:</b>	EVANS
<b>Característica especial:</b>	Cartucho con excelente absorción del agua que facilita la filtración.
<b>Aplicación :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esta media filtrante (cartucho) es la primera etapa en su sistema de filtración que es la retención de sedimentos.</li> <li>• Pueden ser instalados para Housing o porta filtros con dimensiones: diámetro 2.5" x 10" de largo.</li> </ul>
<b>Beneficios:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retiene cabellos, tierra, partículas de oxidación y sólidos en suspensión en general. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejora la calidad de agua que consumes diariamente. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo de operación.</li> <li>• Fácil instalación.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>	-
<b>Dimensiones:</b>	7.00 X 7.00 X 26.00 cm
<b>Peso neto:</b>	0.12 kg

## Apéndice F.4 Ficha técnica Cartucho de Polipropileno 10µm. | PP-10 EVANS



PLASTIGAMA WAVIN

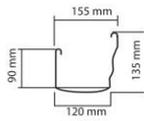
# CANALES Y BAJANTES DE PVC

Sistema para recolección de aguas lluvias con resistencia UV



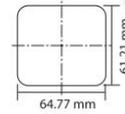
## Canal 3 m

CODIGO:  
924337  
PESO (Kg.)  
3.300



## Bajante 3 m

CODIGO:  
924336  
PESO (Kg.)  
1.890



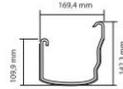
## Soporte plástico de canal

CODIGO:  
924303  
PESO (Kg.)  
0.090



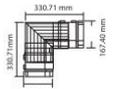
## Unión de canal a canal

CODIGO:  
924344  
PESO (Kg.)  
0.245



## Unión esquina interior

CODIGO:  
924347  
PESO (Kg.)  
0.890



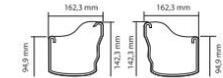
## Unión esquina exterior

CODIGO:  
924346  
PESO (Kg.)  
0.910



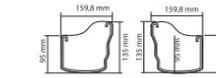
## Tapa externa

Derecha Izquierda  
CODIGO:  
DER.: 924305  
IZQ.: 924306  
PESO (Kg.)  
Der. 0.144  
Iz. 0.144



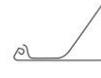
## Tapa interna

Derecha Izquierda  
CODIGO:  
DER.: 924307  
IZQ.: 924308  
PESO (Kg.)  
Der. 0.110  
Iz. 0.110



## Soporte Metálico de canal

CODIGO:  
925476  
PESO (Kg.)  
0.130



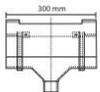
## Tornillo inoxidable

CODIGO:  
924335  
PESO (Kg.)  
0.003



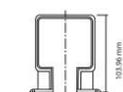
## Unión de canal a bajante

CODIGO:  
924345  
PESO (Kg.)  
0.490



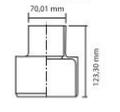
## Soporte de bajante

CODIGO:  
924302  
PESO (Kg.)  
0.028



## Unión de bajante

CODIGO:  
924343  
PESO (Kg.)  
0.090



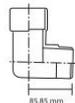
## Codo de bajante 45°

CODIGO:  
924237  
PESO (Kg.)  
0.127



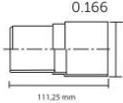
## Codo de bajante 90°

CODIGO:  
924238  
PESO (Kg.)  
0.161



## Adaptador de bajante a alcantarillado

CODIGO:  
924153  
PESO (Kg.)  
0.166



## Lubricante de silicona

CÓDIGO:  
924289  
VOLÚMEN  
20cc



## Kit Hidrosello canal decorativo x 2

CÓDIGO:  
13468



## VENTAJAS

- Soportan altos volúmenes pluviales.
- Capacidad máxima de 90 m<sup>2</sup> de cubierta por bajante.
- Alta durabilidad.
- Diseñados para un acople perfecto.
- No requieren soldaduras.
- Livianos.
- Resistencia contra rayos UV y condiciones atmosféricas..
- Su diseño y textura facilitan su limpieza evitando que ocurran obstrucciones que impidan el flujo y den mal aspecto.
- Moderno diseño: destaca su fachada.
- Puede ser pintado.



Nota: Disponible únicamente en color blanco.

## PROCESO DE INSTALACIÓN DE CANALES COLGANTES

Se realiza cuando el canal requiere ser suspendido de la cubierta directamente porque el alero sobresale mucho de la fachada, en este caso se deben utilizar los soportes colgantes metálicos. Para una correcta instalación siga los siguientes pasos:



**1**  
**VERIFIQUE LA NIVELACIÓN DE LA CUBIERTA.**  
Utilizando una manguera con agua marque a la altura del nivel de agua en los extremos de la cubierta, temple la cuerda o piola en las marcas fijadas.



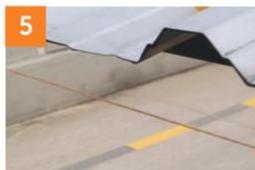
**2**  
**MARQUE LA PENDIENTE.**  
En un extremo de la cubierta mida la distancia entre la cuerda y la ondulación más baja y realice una marca, a partir de esta marca dé una pendiente de 2% (2mm por metro de longitud) y marque en el otro extremo de la cubierta.



**3**  
**INSTALE EL PRIMER SOPORTE.**  
Coloque la platina del soporte pegada a la ondulación más baja de la cubierta, marque los orificios, perforo y atornille.



**4**  
**INSTALE LA UNIÓN DE CANAL A BAJANTE.**  
Coloque otra platina del soporte en el punto que le dio la pendiente, es decir el punto más bajo e instale la unión de canal a bajante.



**5**  
**TIENDA LA CUERDA.**  
Desde el primer soporte, a la unión de canal a bajante, para alinear los soportes intermedios.



**6**  
**INSTALE LOS SOPORTES INTERMEDIOS.**  
Siguiendo la pendiente de la cuerda coloque los soportes equidistantes entre sí a intervalos no superiores a 75 cm.



**7**  
**LUBRIQUE LOS ACCESORIOS.**  
Aplique generosamente lubricante de silicona a todos los sellos de caucho de los accesorios para facilitar el ensamble.



**8**  
**COLOQUE LOS CANALES.**  
Si se requiere una longitud de canal mayor a los 3m utilice la "unión de canal a canal", insertando los extremos del canal a la misma.



**9**  
**UNIÓN ESQUINA INTERIOR O EXTERIOR.**  
Si la instalación requiere "unión esquina", el último soporte de canal deberá estar lo más cerca posible según sea el caso.



**10**  
**ACOPLE LAS TAPAS.**  
Acople la tapa interna si es accesorio y la tapa externa si es en un extremo del canal



**11**  
**INSTALE LOS SOPORTES DE PLÁSTICO.**  
Coloque los soportes de plástico para mejorar la rigidez del canal, estos irán a la misma distancia de los soportes metálicos.

NOTA: De requerir información adicional, comuníquese con el Departamento Técnico de Plastigama para obtener el asesoramiento requerido de acuerdo a sus proyectos y obras en ejecución.

## Apéndice F.6 Catálogo de canales y Bajantes de PVC PLASTIGAMA WAVIN 2.

## PROCESO DE INSTALACIÓN DE CANALES SOBRE MURO

Se realiza atornillando los accesorios al muro de la fachada directamente.

En este caso una vez ubicadas las bajantes y marcados los niveles como en el sistema colgante siga los siguientes pasos:



**1**  
**INSTALE LA UNIÓN DE CANAL A BAJANTE.**  
Instale la unión de canal a bajante en la pared con el borde superior a nivel de la cuerda de pendiente.



**2**  
**TIENDA LA CUERDA.**  
Desde el punto inicial hasta el sitio donde se ubicó la unión canal a bajante para alinear los soportes intermedios.



**Sistema con instalación sobre muro**

**NOTA:** Para continuar con la instalación de los canales siga los mismos pasos descritos en la instalación "Colgante de Canales" teniendo en cuenta que los accesorios estarán asegurados al muro o pared de la fachada. Verifique que el soporte quede alineado con la cuerda.



**3**  
**INSTALE LOS SOPORTES.**  
Alinee con la cuerda y ubique los soportes equidistantes entre sí a intervalos no superiores a 75 cm. Marque, perforo y atornille los soportes a la pared.



**4**  
**UNA LA ESQUINA INTERIOR O EXTERIOR.**  
Si la instalación requiere "unión esquina", coloque soportes lo más cerca posible a dicha unión, ya que esta no se atornilla al muro.

## PROCESO DE INSTALACIÓN DE BAJANTE

Puede realizarse sobre el muro o pared o a una distancia determinada de este.



**1a**  
**UNIÓN CON CANAL.**  
Si la unión de canal a bajante ha sido instalada sobre el muro o pared, los bajantes podrán ser conectados directamente haciendo uso de un nivel o plomada, marque en el muro las perforación de los soportes de bajantes cada 150 cm de bajante.



**1b**  
Si los canales están a una distancia determinada del muro o pared (sistema colgante), se instalará un codo de bajante de 45° con el respectivo soporte sobre el muro y otro desde la unión de canal a bajante conectados entre sí por un tramo.



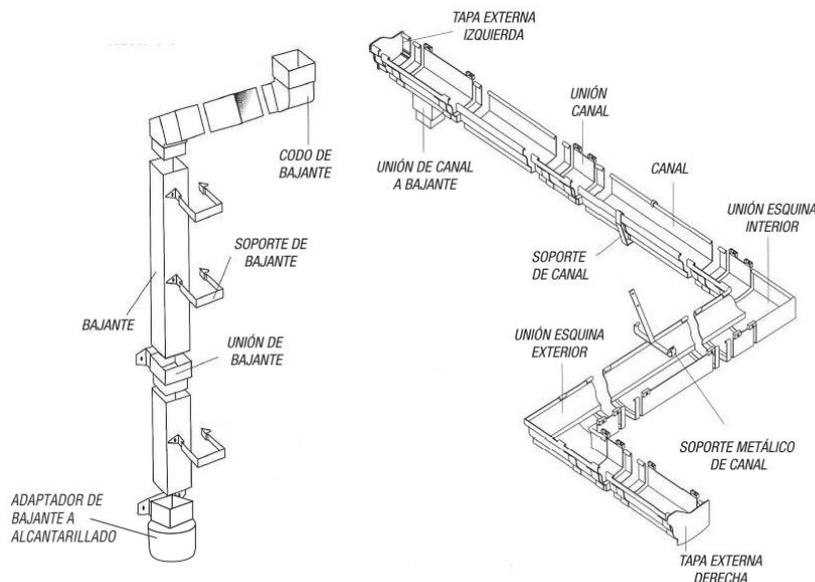
**2**  
**UNIONES DE BAJANTES.**  
Si los bajantes son mayores a 3m (longitud estándar), se conectarán dos tramos de bajantes por medio de una unión de bajante instalada al muro mediante un soporte de bajante.



**3**  
**ACCESORIO TERMINAL**  
El accesorio terminal de un bajante podrá ser un codo instalado sobre el muro con su respectivo soporte de bajante, o un adaptador de bajante a alcantarillado para ser conectado al sistema de aguas lluvias de la residencia.

### Apéndice F.7 Catálogo de canales y Bajantes de PVC PLASTIGAMA WAVIN 3.

## DIAGRAMA DE LOS SISTEMAS CANAL Y BAJANTE DE PLASTIGAMA



### RECOMENDACIONES:

- Verificar la correcta nivelación de los canales, según pendiente de la cubierta y de esa manera garantizar la conducción de agua de la cubierta por medio del conjunto de bajantes.
- En caso que existan adherencias de polvo u otro material extraño a los canales y bajantes de PVC, se los deberá limpiar con agua jabonosa; no utilice Polilimpia u otro limpiador químico, debido a que alterara el brillo exterior propio del producto dañando su estética. Las hojas y otros elementos en los canales son fácilmente extraídos removiendo las tapas exteriores de los canales y mediante el uso de una brocha o escoba pequeña.
- No se recomienda la instalación de rejilla o "cernidera" alguna en la unión de canal a bajante, ya que ello produciría la obstrucción de la entrada al bajante.
- Cualquier modificación en el sistema de evacuación de aguas lluvias se la hará desmontando los canales y bajantes, y siguiendo los pasos ya mencionados en este folleto para su instalación.
- Para lograr cortes a escuadra, ajuste un soporte plástico al canal, marque, retire y con una sierra haga el corte, luego retire las rebabas.
- No se deberá cortar los elementos ya instalados ni alterar la estructura del techo o el muro de la fachada. Más aún, no se debe realizar en sitio, cambios de dirección deformando los elementos con calor; todo lo contrario, se deberán emplear siempre accesorios adecuados para la instalación del sistema.
- Siempre se deben utilizar soportes plásticos aún si el sistema es de canales colgantes, para mejorar la rigidez del canal.

### PROCESO PARA PINTAR:

Con lija fina de hierro, proceder a lijar suavemente la parte exterior del canal y de los accesorios. Luego proceder a limpiar con Polilimpia y posteriormente aplicar pintura con soplete o brocha. La pintura a utilizar debe ser de tipo epóxica para PVC exterior y de preferencia en tonos claros. Se la puede obtener en cualquier distribuidor de pintura.

### ANCLAJE CON TORNILLOS DE ACERO INOXIDABLE:

Como los canales se instalan a la intemperie y están expuestos al ambiente, es importante utilizar tornillos de acero inoxidable debido a que las cabezas de los tornillos son propensos a sufrir corrosión. Además, cuando los canales estén llenos de agua, podrían caer por su propio peso y causar daños.

### LUBRICACIÓN:

Es necesaria la lubricación de los sellos para facilitar el ensamble del canal con los accesorios, de no usarlo se corre el riesgo de que el empaque del accesorio se remueva y no exista estanquidad. Además el lubricante, protege y mantiene el canal. Un frasco de 28 gramos de lubricante de silicona, rinde para 60 sellos aproximadamente.

Rev.: 2020 - 02 - 05

### MEXICHEM ECUADOR S.A.

Durán: Km. 4.5 Vía Durán - Tambo PBX: 3716900  
Quito: Av. Siena N 2-14 y Miguel Ángel,  
Sector La Primavera-Cumbayá Telf.: 3934420  
[www.plastigamawavin.com](http://www.plastigamawavin.com)



## Apéndice F.8 Catálogo de canales y Bajantes de PVC PLASTIGAMA WAVIN 4.



CÓDIGO: 12602 CLAVE: BOS-1LP

### Bomba sumergible plástica para agua limpia 1 HP, Truper

- Diseñada para uso doméstico e industrial como en cisternas, fuentes, albercas, oxigenación y circulación de agua
- Altura máxima: **10 m**
- Flujo máximo: **208 L/min**
- Profundidad de inmersión máxima: **8 m**
- Base de succión con rejilla filtradora de partículas
- Conector para manguera de descarga



Capacidad para mayor potencia al arranque



Balero metálico



**Motor con bobinas de COBRE**  
**2x** Mayor durabilidad que las de aluminio

#### Certificaciones y garantías

- Cumple la norma NOM-003-SCFI



#### Especificaciones

<b>Potencia</b>	1 HP
<b>Altura máxima</b>	10 m
<b>Flujo máximo</b>	208 L/min
<b>Profundidad de inmersión máxima</b>	8 m
<b>Ciclo de trabajo</b>	50 minutos de trabajo por 20 minutos de descanso. Máximo diario 6 horas
<b>Diámetro de salida para manguera</b>	1" y 1 1/4"
<b>Diámetro de salida para tubería</b>	1" y 1 1/2"
<b>Diámetro de partículas</b>	5 mm
<b>Cable de alimentación</b>	11 m
<b>Tensión / Frecuencia</b>	127 V / 60 Hz
<b>Consumo</b>	6 A
<b>Velocidad</b>	3,450 rpm

### Especificaciones

<b>Dimensiones (Altura x Diámetro)</b>	32 x 16 cm
<b>Peso</b>	4.9 kg
<b>Empaque individual</b>	Caja
<b>Inner</b>	1
<b>Master</b>	4

### Incluye

Flotador para detectar bajo nivel de agua

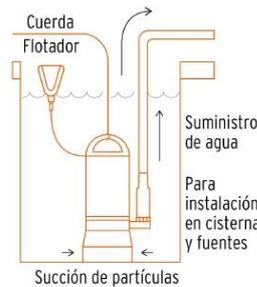
### Refacciones y/o accesorios disponibles en catálogo (no incluidas)

Código	Clave	Descripción
101948	CONE-BOSP	Kit de conector y empaque p/bombas sumergibles plásticas

### Imágenes complementarias



### Funcionamiento



### Curva de rendimiento

Para una mejor selección de acuerdo a sus necesidades compare el rendimiento entre altura y flujo que brinda cada uno de los modelos.



Imágenes complementarias



## APÉNDICE G: Tablas de costo de material

### Apéndice G.1. Costo de sistema de canales de aguas lluvias.

Canales de aguas lluvias			
Pieza	Costo Unitario USD	Cant. Req.	Costo Conjunto USD
Canal de 3 metros Plastigama	\$ 16.28	8	\$ 130.24
Unión de canal esquina exterior Plastigama	\$ 11.80	4	\$ 47.20
Unión de canal a bajante Plastigama	\$ 5.90	4	\$ 23.60
Unión de canal Plastigama	\$ 4.79	5	\$ 23.95
Bajante 3mts Plastigama	\$ 16.70	1	\$ 16.70
Tapa de canaleta derecha	\$ 1.34	1	\$ 1.34
Tapa de canaleta izquierda	\$ 1.34	1	\$ 1.34
Angulo 45 gados bajante	\$ 2.90	2	\$ 5.80
Soporte canal decorativo	\$ 0.92	30	\$ 27.60
Soporte bajante	\$ 0.78	4	\$ 3.12
Total			\$ 280.89

### Apéndice G.2. Costo de Tuberías. primera descarga y accesorios.

Tuberías. primera descarga y accesorios			
Pieza	Costo Unitario USD	Cant. Req.	Costo Conjunto USD
Tee PVC reductora 75 mm a 50 mm Rival	\$ 4,21	1	\$ 4,21
Codo PVC desagüe ec 50 mm x 90g Rival	\$ 1,16	1	\$ 1,16
Reductor PVC desagüe 110mm a 75mm Rival	\$ 2,89	2	\$ 5,78
Tubo PVC desagüe 50mm x 3mts Rival	\$ 4,88	1	\$ 4,88
Tubo PVC desagüe 75mm x 3mts Rival	\$ 9,24	1	\$ 9,24
Tubo PVC desagüe 110mm x 3mts Rival	\$ 11,83	1	\$ 11,83
Tee Plastigama marrón r/r pp ½	\$ 0,59	2	\$ 1,18
Codo Roscable Plastigama PP RR H 1/2 90°	\$ 0,44	1	\$ 0,44
Codo Roscable Plastigama PP RR H 1x90°	\$ 1,62	4	\$ 6,48
Tubo PVC p roscable 1/2 Rival	\$ 6,71	1	\$ 6,71
Tubo PVC p roscable 1" Rival	\$ 11,50	1	\$ 11,50
Pega tubos PVC 125 cc. Kalipega	\$ 2,97	1	\$ 2,97
Válvula desviadora repuesto p/purificado	\$ 8,99	1	\$ 8,99
Accesorios misceláneos para conexiones*	\$ 20,00	1	\$ 20,00
Válvula esférica llave de manguera	\$ 8,39	1	\$ 8,39
Válvula esférica std 1/2 h-h palanca cr fv	\$ 4,11	2	\$ 8,22
Total			\$ 111,98

(\*) Este rubro tiene en cuenta accesorios para conexiones, reductores u otros implementos requeridos para la instalación del sistema.

**Apéndice G.3. Costo de elementos de Filtración Purificación y bombeo.**

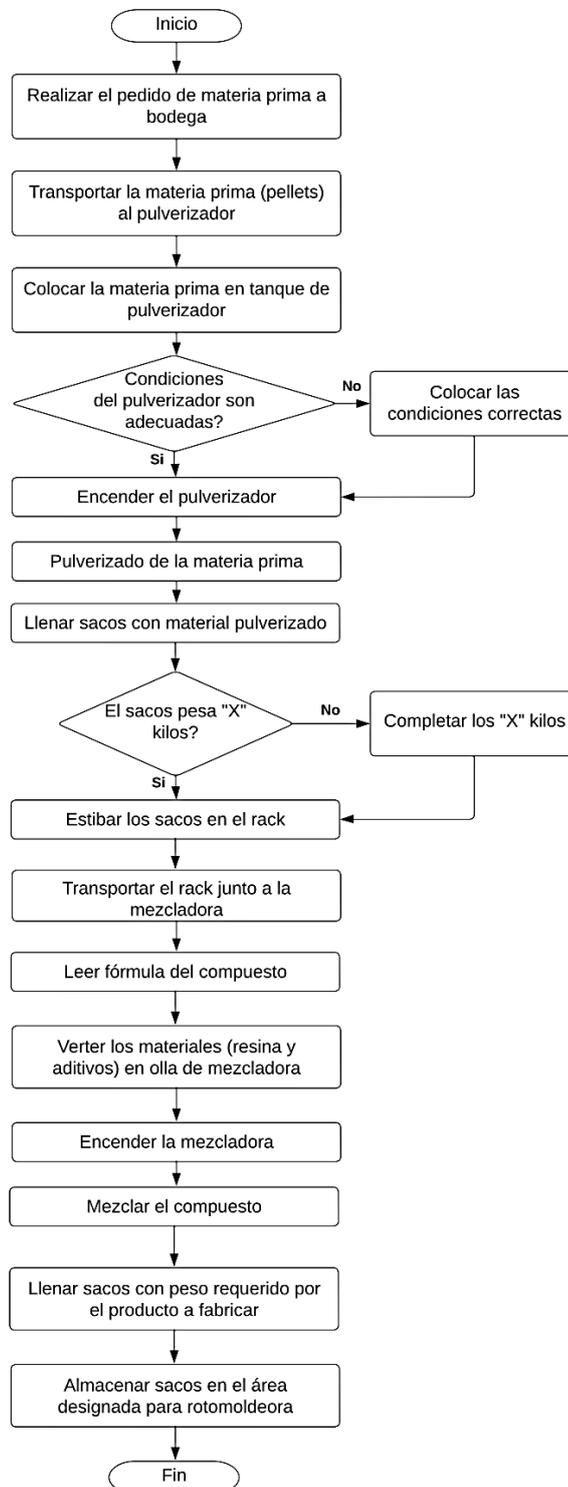
Filtración, purificación y bombeo			
Pieza	Costo Unitario USD	Cant. Req.	Costo Conjunto USD
Purificador de luz ultravioleta 5 etapas c/acc Evans	\$ 178,00	1	\$ 178,00
Filtro malla 2 pulgadas	\$ 20,00	1	\$ 20,00
Filtro atrapa hojas	\$ 20,00	1	\$ 20,00
Bomba sumergible 1/2hp 110v Truper a/lim	\$ 100,49	1	\$ 100,49
Switch Presión Square D 20-40psi	\$ 16,18	1	\$ 16,18
Total			\$ 334,67

**Apéndice G.4. Costo de Tanques.**

Tanques			
Pieza	Costo Unitario USD	Cant. Req.	Costo Conjunto USD
Bidón Redondo de boca ancha 60 L	\$ 16.00	1	\$ 16.00
Tanque De Agua Plastigama Tipo Botella De 1100litros	\$ 250.00	1	\$ 250.00
Total			\$ 266.00

# APÉNDICE H: Investigación proceso de rotomoldeo.

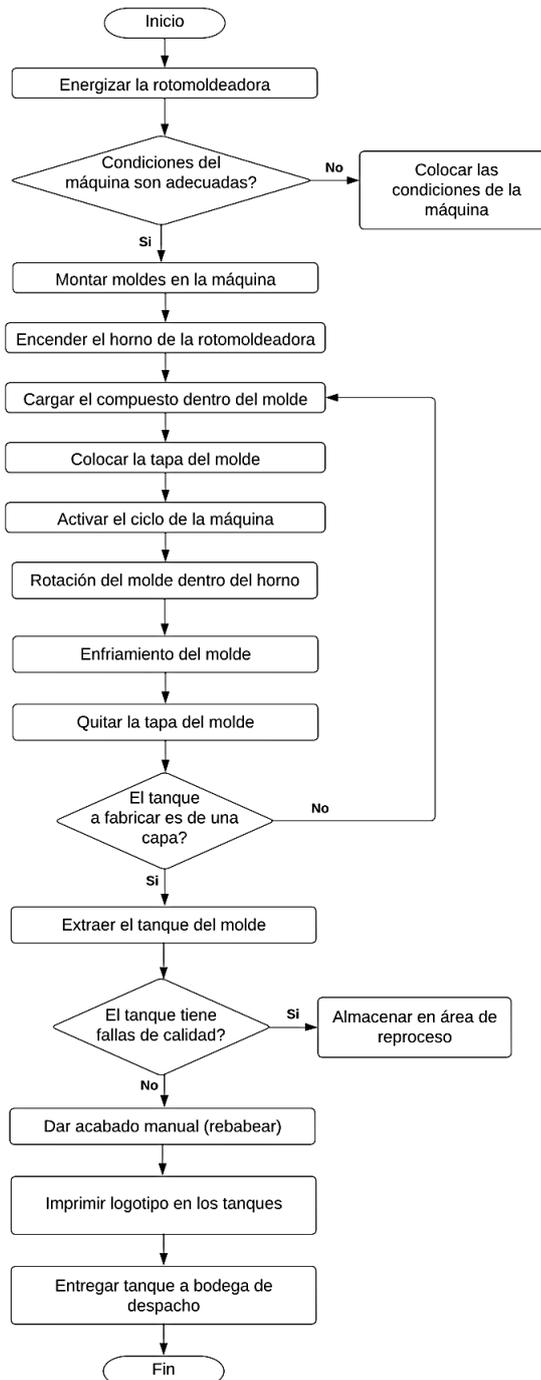
## Preparación de la mezcla



## Apéndice H.4 Diagrama del proceso de preparación de la mezcla (Sarango, 2012).

### Etapas del proceso

En la siguiente grafica se observa el diagrama flujo del proceso de rotomoldeo de un tanque cilíndrico, donde se muestran todas las etapas que intervienen en su fabricación.



Apéndice H.4 Diagrama de flujo del proceso de rotomoldeo (Sarango, 2012).

## **Materia prima**

### **Recepción**

Según Sarango (2012). para los procesos de rotomoldeo se crean compuestos de acuerdo con formulaciones o mezclas donde la resina principal es el polietileno de media densidad. A este polímero 100% virgen se le añaden pigmentos de origen orgánico para producir el color final del producto. así como dióxido de titanio. Se agrega dióxido de titanio ya que reduce la translucidez del material. evita el paso de la luz solar al tanque y evita que las algas producidas creen o proliferen microbios. Otro componente de la mezcla suele ser el *scrap* pulverizado. el cual se produce a partir de residuos de tanques con defectos o de mala calidad.

### **Preparación**

***Pulverizador:*** El primer proceso por el que atraviesa el material es el pulverizador. Empleado como resina principal en el proceso de rotomoldeo. el polietileno de media densidad se vende comúnmente a manera de gránulos. los cuales deben triturarse hasta obtener un polvo fino que será usado en su posterior transformación. y para esto. se necesita de un pulverizador que lleve a cabo el proceso.

Para realizar un triturado de alta calidad se requiere de conocimientos empíricos y teóricos. lo cuales son fundamentales para eludir un producto final de mala calidad. Los polvos producidos con equipos inapropiados. o producidos con un mantenimiento inadecuado. tendrán superficies ásperas. migajas. y una alta proporción de finos. Esto ocasiona que los polvos no fluyan correctamente en el molde y formen porosidad. lo que provocará un espesor desigual e incluso vacíos en el tanque fabricado. Las piezas serán frágiles y las grietas por tensión inevitables (Sarango, 2012).

Los gránulos de polietileno se muelen hasta convertirlos en polvo mediante trituración mecánica a través de un pulverizador. Estos pulverizadores producen distribuciones de partículas que no son lo suficientemente pequeñas para el rotomoldeo. Es por eso por lo que. posteriormente. los materiales deben tamizarse para producir un tamaño de partícula adecuado. El tamaño de partícula adecuado es confidencial y depende de cada

compañía. pero las partículas que aún sean gruesas se devuelven al pulverizador para ser trituradas nuevamente.

**Mezclador:** La siguiente etapa del material es el mezclador. el cual se utiliza para combinar los polvos de la resina principal y aditivos empleados (pigmentos y dióxido de titanio). Sin embargo. se desconoce la contribución ideal de los ingredientes ya que es de carácter confidencial.

Este componente tiene una paleta de metal dentro de un recipiente que está conectada a un motor que gira constantemente para mezclar todos los ingredientes. Finalmente. la mezcla se descarga en una bolsa y está lista para ser utilizada en procesos posteriores.

**Molino:** Es el componente empleado para reutilizar el material de los tanques plásticos que no hayan sido aprobados por calidad. ya sea por tener malformaciones o mal acabado superficial. En este proceso los tanques se Trituran por medio de cuchillas de corte acopladas a un rotor que gira debido a un motor dentro de un recipiente cerrado. Luego este material reciclado es añadido a la mezcla como resina junto a los aditivos necesarios

## **Carga**

### **Cantidad de material**

Tal como se mencionó en la etapa anterior. la proporción de los ingredientes es clasificada. no obstante. la cantidad de resina si es posible estimar.

Una alternativa usada para determinar la cantidad de masa de polietileno necesaria para un espesor de pared dado es. multiplicar el volumen del tanque por la densidad del material.

Si se usa un software de dibujo para modelar el tanque. como Autodesk Inventor®. este dato se puede obtener en las propiedades del modelo. Recordando que. el volumen de la pieza final de plástico es igual volumen sin vaciado menos el volumen con vaciado.

Otro método que se suele utilizar si se conoce la geometría del molde es multiplicar el área de la superficie interior del molde por el espesor de pared deseado y la densidad del material. Esto es:

$$M_{pe} = A_{int} \cdot t_{pe} \cdot \rho_{pe}$$

Donde:

$M_{pe}$  = Masa de polietileno a utilizar [Kg]

$A_{int}$  = Área de la superficie interior del molde [m<sup>2</sup>]

$t_{pe}$  = Espesor del tanque [m]

$\rho_{pe}$  = Densidad del material [kg/m<sup>3</sup>]

Sin embargo, dado que no contamos con información del molde, debemos estimar la cantidad de material a través de la primera alternativa.

$$M_{pe} = \rho_{pe} \cdot V_{pe}$$

Donde:

$M_{pe}$  = Masa de polietileno a utilizar [Kg]

$\rho_{pe}$  = Densidad del material [kg/m<sup>3</sup>]

$V_{pe}$  = Volumen del tanque obtenido a través del software [m<sup>3</sup>]

$$M_{pe} = 952 \cdot 0.0315$$

$$M_{pe} = 29.988 \approx 30 \text{ kg}$$

### **Número de Capas**

Por lo regular, la receta para los productos hechos a base de rotomoldeo es similar. la única diferencia es el color ya que se elaboran tanques de dos a tres capas.

Los tanques bicapa constan de dos capas de polietileno 100% virgen que se sabe que se encuentran certificados por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos para el almacenamiento de agua. La capa externa de color negro impide el ingreso de luz solar, así como el crecimiento de microorganismos y bacterias en el interior del tanque, mientras que la capa interna de color blanco permite una mejor visualización del nivel de agua y facilita las tareas de mantenimiento y limpieza.

Por otro lado, los tanques tricapa cuentan con tres niveles de capas de polietileno 100% virgen por lo que cuentan con mayor grosor de las paredes en comparación a los tanques anteriores. La capa externa de color azul mejora el aislamiento y repele la mayor cantidad de rayos ultravioletas. La capa intermedia de color negro, al ser opaca, cumple con la misma función que en los tanques bicapa, impedir el crecimiento de microorganismos y bacterias. Y finalmente, la capa interna de color blanco proporciona un rol antiadherente y actúa como aislamiento térmico.

En base a esto, se sabe que el tanque de 1100 L es un tanque de tipo tricapa.

Luego de obtenida la mezcla y que hayan sido separadas e identificadas las respectivas bolsas con el peso requerido por el producto a fabricar, se inicia el proceso de rotomoldeo.

## **Máquinas**

En la actualidad gran parte de las máquinas de rotomoldeo existentes en la industria se basan en una rotación biaxial íntegra alrededor de dos ejes perpendiculares y cuentan con un horno de convección para el calentamiento del molde. Existen además, otras alternativas de calentamiento poco convencionales que van desde elementos eléctricos en la superficie del molde hasta la circulación de aceite caliente alrededor de una camisa que cubre el molde.

La presente investigación se centrará en los dos tipos principales de máquina más comunes en la industria: Tipo Carrusel, Tipo Shuttle y Flama Abierta.

## **Tipo Carrusel**

Es una máquina de tres brazos espaciados 120° con respecto a cada uno e impulsada por una sola torreta. Cada estación (calefacción. enfriamiento. mantenimiento) está ligada a un brazo. Algunas máquinas tienen cuatro brazos (separados por 90°). Por lo general. un cuarto brazo está ubicado en una estación de enfriamiento adicional y los otros tres brazos están ubicados en las estaciones de calefacción. enfriamiento y mantenimiento.

Esta máquina calienta el aire alrededor del molde por medio de una flama producida en el interior de un horno que funciona con gas licuado de petróleo (GLP). El aire por convección calienta el molde dentro del horno y. es en este proceso donde se gira el molde mientras se calienta para fundir la mezcla y que el producto alcance su forma final.

Las máquinas de rotomoldeo tipo carrusel tienen un costo inicial en el mercado entre \$ USD 50 000 y \$ USD 150 000.

## **Tipo Shuttle**

Existen muchas versiones de máquinas de rotomoldeo tipo Shuttle. En una de ellas el subsistema del molde montado en un carro sobre rieles se traslada desde la estación de mantenimiento/refrigeración hasta la estación del horno. y de vuelta a la estación de mantenimiento/refrigeración.

La eficiencia del proceso aumenta si se usa un doble carro. En este diseño el horno está siempre ocupado por el calentamiento de un molde al mismo tiempo que el molde del otro carro está siendo enfriado o recibiendo los acabados. Si el tiempo de enfriamiento y acabado del molde es igual al tiempo de calentamiento. este sistema roza el valor más alto en términos de índices de producción.

Estas máquinas tendrían un costo inicial en el mercado alrededor de \$ USD 60 000 y \$ USD 130 000.

## Tipo Flama Abierta

A diferencia de los dos tipos anteriores. en las máquinas de rotomoldeo de flama abierta el calentamiento ocurre por la exposición del molde a mecheros circundantes ubicados al aire libre. Como resultado. gran parte del calor se pierde por el medio ambiente.

A las máquinas de flama abierta también se las conoce como “Rock and Roll” ya que implican una acción de balanceo sobre un eje (Rock). y una rotación completa de 360° sobre otro eje perpendicular (Roll). En este tipo de máquinas los moldes se instalan en una estructura bastidor que es capaz de oscilar dentro de un ángulo de  $\pm 35^\circ$ . mientras que. la velocidad de rotación del molde se mantiene baja (alrededor de 3 rpm).

Las máquinas de rotomoldeo tipo flama abierta tienen un costo inicial en el mercado entre \$ USD 28 500 y \$ USD 32 000.

## Velocidad de rotación

La velocidad de rotación en el rotomoldeo es tan baja que el material permanece en la parte inferior del molde hasta que es recolectado para construir una nueva capa en la superficie del molde. La frecuencia y el tiempo con la que cada punto de la superficie interior del molde es introducido en la piscina de plástico define el grosor de la capa.

La relación de velocidades alrededor de los ejes de una máquina rotativa biaxial es de gran importancia a la hora de garantizar la uniformidad de la cantidad de plástico en las paredes del molde. En algunas ocasiones. se vuelve indispensable cambiar la dirección de giro del molde para asegurar que todas las áreas de la superficie interior del molde queden expuestas al baño de polvo.

La ecuación para determinar la relación de velocidad entre los dos ejes de la máquina está dada por:

$$\text{Relación de velocidad} = \frac{\omega_{mayor}}{\omega_{menor} - \omega_{mayor}} \quad (\text{EC 4})$$

Donde:

$\omega_{mayor}$  = Velocidad angular del eje mayor [rpm]

$\omega_{\text{menor}}$  = Velocidad angular del eje menor [rpm]

Esto quiere decir que. si. por ejemplo. la velocidad de rotación del eje menor de la máquina es 15 rpm y la velocidad de rotación del eje mayor es 12 rpm. entonces. la relación de velocidad de los ejes sería de 4:1.

En la Tabla X se muestra los valores típicos de relación de velocidad (eje menor: eje mayor) recomendados para distintos tipos de geometrías de molde.

**Apéndice H.1 Relación de velocidades recomendadas para distintas geometrías de molde (Fuente: Crawford y Kearns. 2003)**

Relación de velocidad	Geometría
8:1	Tubos rectos (instalados horizontalmente)
5:1	Ductos
3:1	Cubos. esferas. cajas rectangulares. formas tridimensionales regulares
2:1	Anillos. llantas. maniqués. formas planas
1:2	Partes que sufren adelgazamiento al funcionar a 2:1
1:3	Rectángulos planos. formas de valija
1:3	Conductos curvos. ángulos de tuberías. piezas que muestran adelgazamiento a 3:1
1:5	Cilindros instalados verticalmente

## Moldes

### Materiales

En el rotomoldeo. gran parte de los moldes están hechos de metal. entre ellos. chapa de acero. níquel o fundición de aluminio. Los moldes tienen estructura en forma de concha de pared delgada debido a la poca fuerza aplicada al molde y la necesidad de transferir calor dentro y fuera de él rápidamente. Usualmente. el tipo de material y el proceso de manufactura del molde viene dado por la complejidad y las dimensiones de la pieza. Para el caso de los tanques de agua que son elementos grandes y de geometría sencilla. los moldes que se utilizan suelen ser de acero al carbono. acero inoxidable o aluminio (Crawford y Kearns. 2003).

Para el caso del tanque de agua de 1100 L. el molde tendría un precio en el mercado entre USD \$ 5 000 y USD \$ 10 000 dependiendo del material y proceso de manufactura (Naranjo. 2016).

## **Características que debe tener el molde**

- Materia prima del molde de buena conductividad térmica para que el calor se transfiera hacia y fuera del polímero tan pronto como sea posible.
- Buena resistencia mecánica para resistir los constantes cambios bruscos de temperatura sin perder su forma original.
- Tener un sistema de cierre que garantice hermeticidad y que pueda abierto y cerrado fácilmente.
- Buen acabado superficial y condición de acople fácil y seguro al bastidor.
- Garantizar que el aire dentro del molde tenga acceso al aire ambiente para que haya recirculación y no haya daños al producto final ni al molde.

## **Proveedores**

Los principales proveedores de productos para rotomoldeo son los países de Estados Unidos. Canadá. China y México. Entre ellos podemos mencionar:

### **Estados Unidos**

Rotoline ®

Advantage Engineering. Inc.

Maguire Products

### **Canadá**

Husky Injection Molding Systems Ltd.

### **China**

Rising Sun

JinHaiHao

Sayeah Machinery

### **México**

Wittmann Group

Conair Mexicana S.A. de C.V.

Comercializadora Los Reyes

## **Proceso de calentamiento**

Debido a que en ocasiones los moldes no suelen traer ángulo de desmoldeo, es importante agregar en la superficie del molde un agente desmoldante. Es por eso por lo que, antes de usar se aplica una capa delgada de esta sustancia.

Una vez que se equipa el molde con el material y se cierra, se procede a encender la máquina de rotomoldeo y la base rotatoria que dispersa el material y lo funde usando mecheros u hornos para ir formando la primera capa. El molde montado sobre la estructura oscilante se mueve sobre dos ejes para optimizar la dispersión del material. Una vez que se genera la capa deseada, se deja enfriar ligeramente, preparándola la pieza para una nueva capa en el interior. En esta etapa el molde se somete a temperaturas entre 250 °C y 350 °C con una duración aproximada entre 15 y 20 minutos para cada capa.

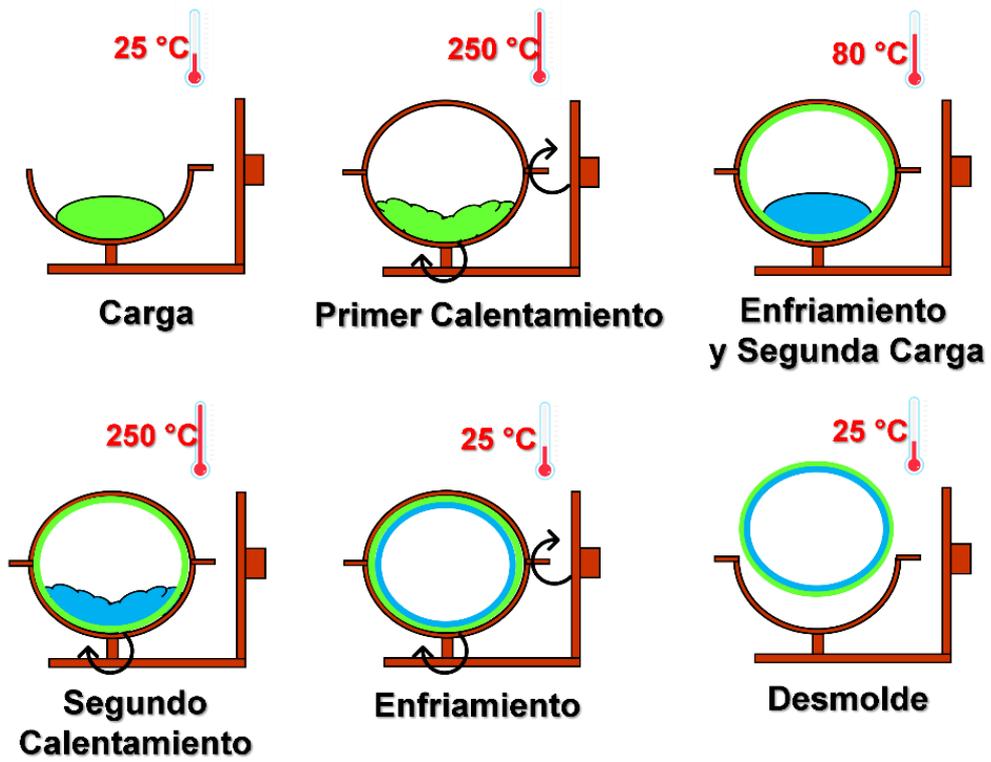
## **Proceso de enfriamiento**

Luego de finalizado el proceso de generación de diferentes capas, se enfría la pieza, empleando una serie de rociadores o aire frío de ventiladores sobre la superficie exterior del molde. Cabe mencionar que, en este punto es importante que no ingrese agua dentro del molde durante ya que esto podría afectar al resultado final de la pieza. Esta etapa de rotomoldeo puede durar hasta 25 minutos dependiendo el método de enfriamiento que se utilice.

## **Proceso de desmoldeo**

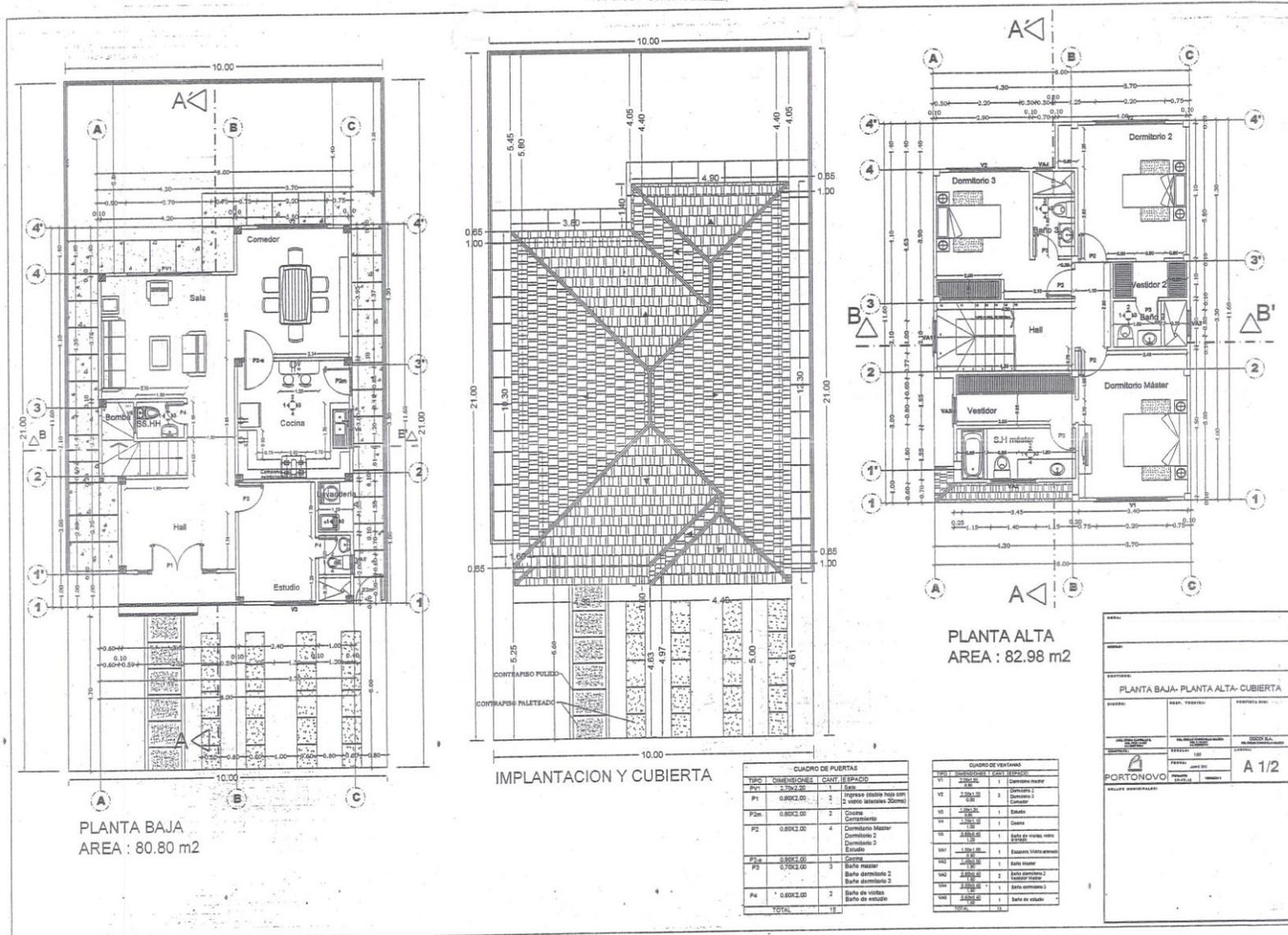
Cuando se enfría el molde, se retira con cuidado la pieza y se remueve el exceso de material usando una navaja. Ejecutado el desmoldeo se lleva a cabo la inspección final de la pieza para asegurarse que cumple con las especificaciones requeridas.

En la Figura 15 se observa el diagrama flujo del proceso de rotomoldeo donde se muestran todas las etapas mencionadas anteriormente.

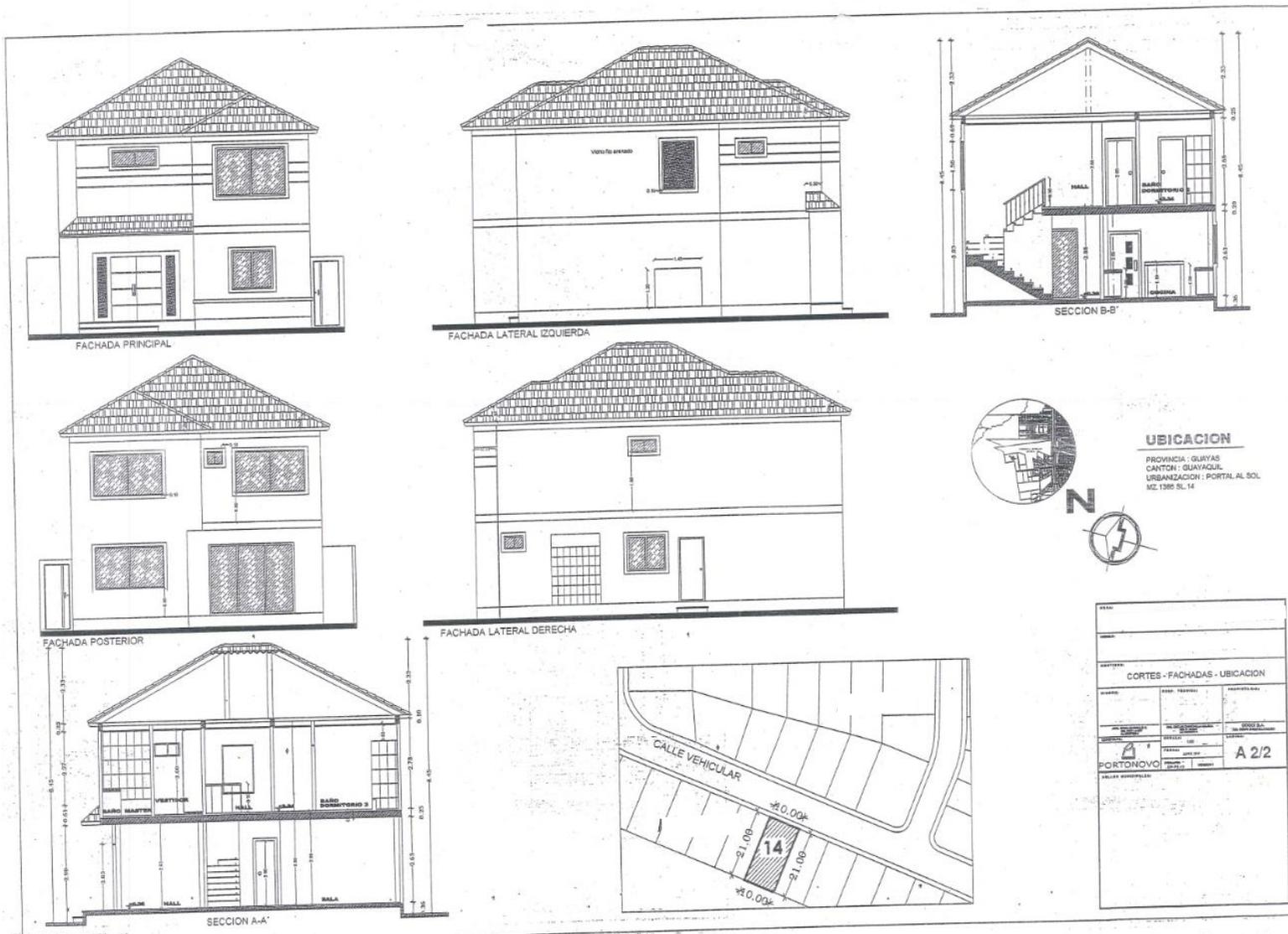


Apéndice H.2. Representación de un proceso de rotomoldeo de múltiples capas.  
(Głogowska, 2018)

# PLANOS



Plano 1 Planos de la vivienda parte 1 (COCOI S.A., 2012)



Plano 2 Planos de la vivienda parte 1 (COCOI S.A., 2012)



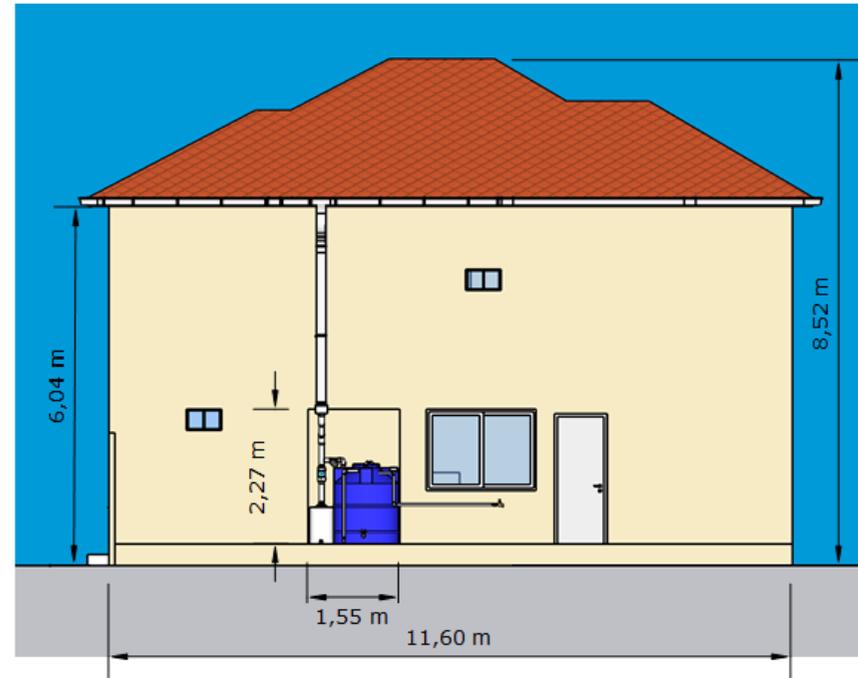
Vista Trasera ESCALA 1:200



Vista Lateral Izquierda ESCALA 1:200



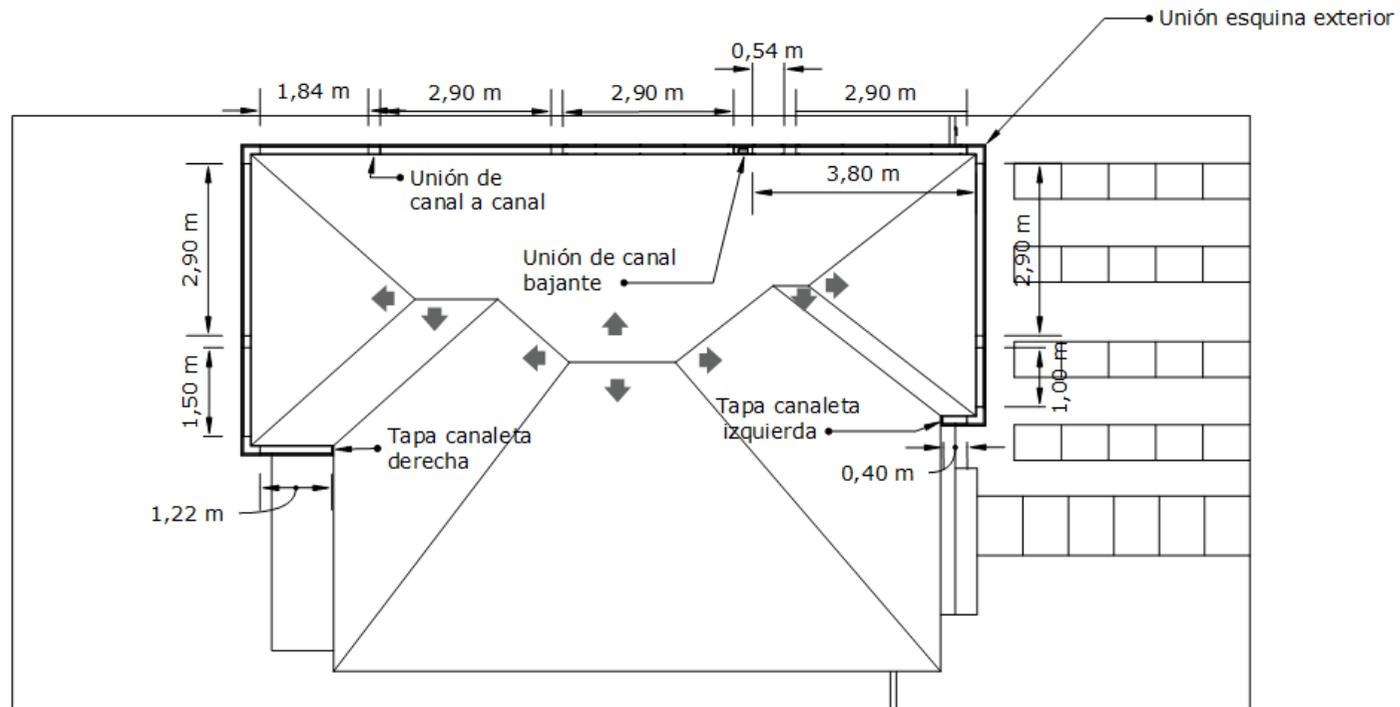
Vista Frontal ESCALA 1:200



Vista Lateral Izquierda ESCALA 1:100

<b>ESPOL</b>	Diseñado por: Diego Vera; Kleber Sanchez	Revisado por: Tutor
	Plano Vista de la fachada de la casa	Plano 1

Plano 3 Planos de sistema 1 de 5 (Ubicación)

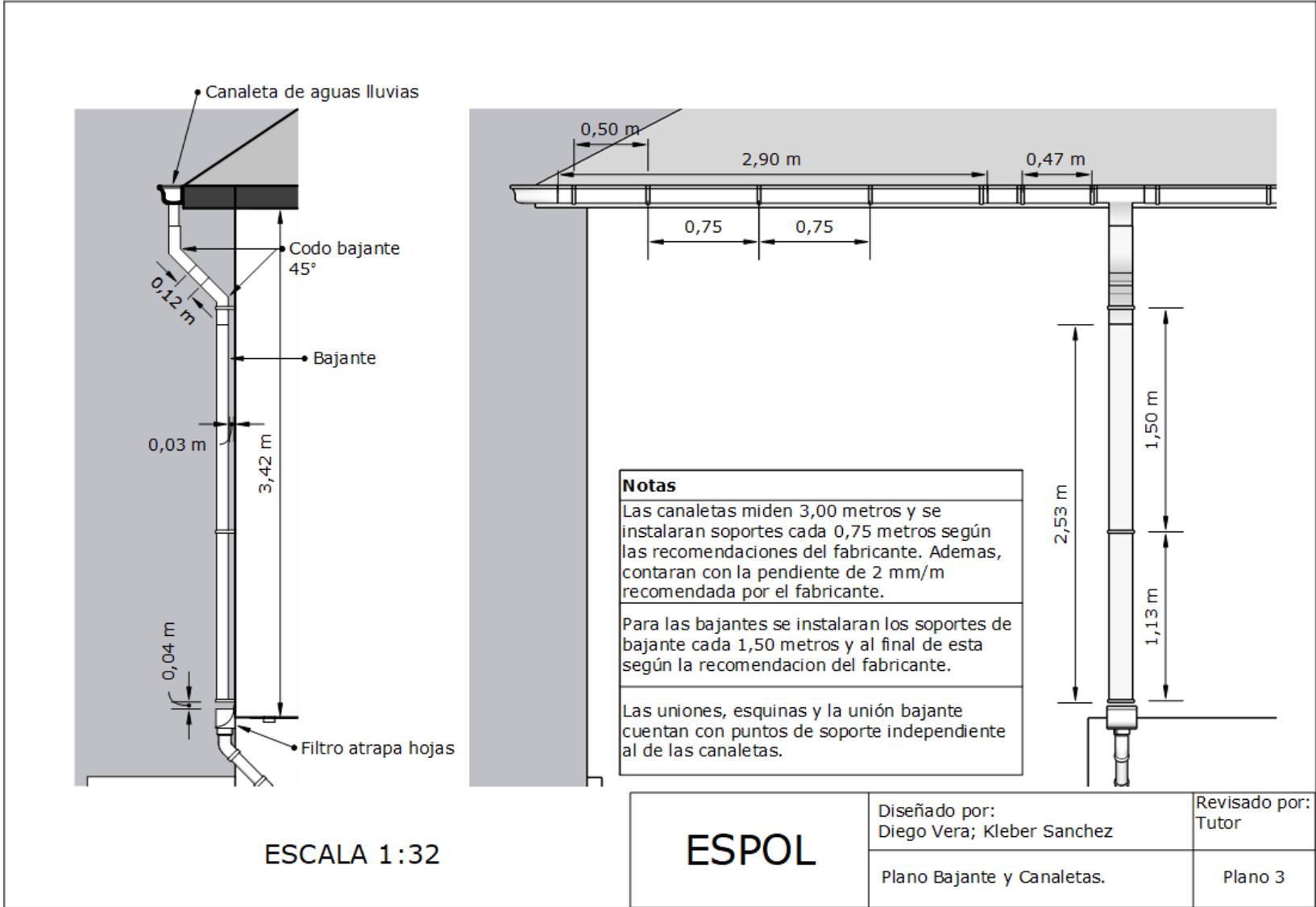


Notas
Las canaletas miden 3,00 metros, pero se considera 2,90 metros debido a la sección que se pierde en la unión de cada una de estas.
El sistema de canaletas tiene una pendiente de 2 mm/m hacia la unión del canal bajante y los soportes de canaleta se instalan cada 75 cm de recorrido de la canaleta.

ESCALA 1:100

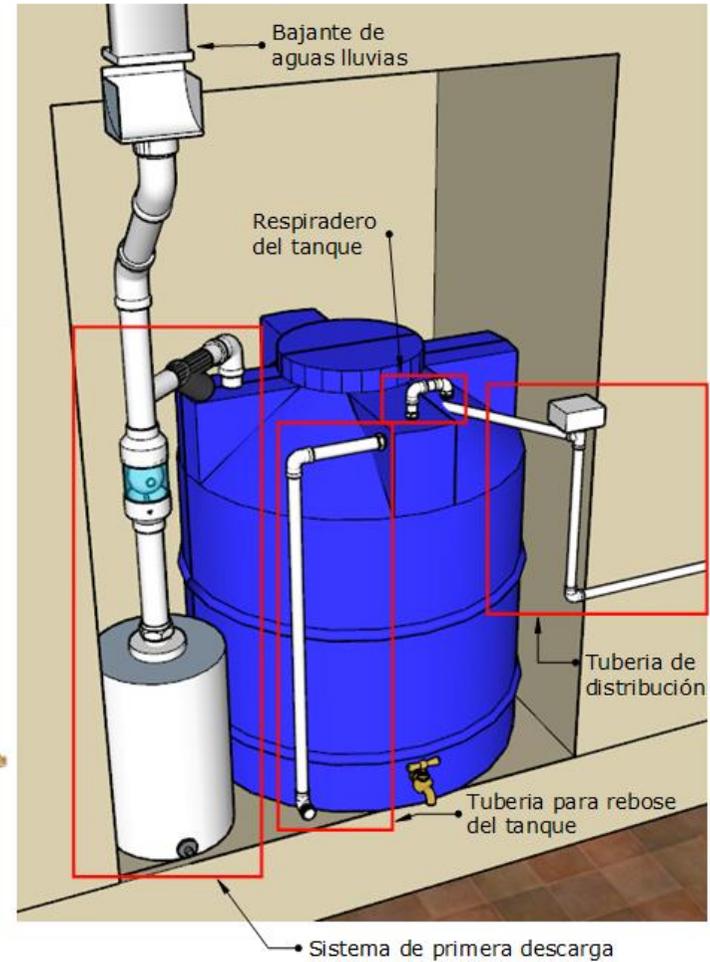
ESPOL

Diseñado por: Diego Vera; Kleber Sanchez	Revisado por: Tutor
Plano Vista Superior Distribución de Canaletas	Plano 2



Plano 5 Planos del sistema 3 de 5

No.	Descripción	Cantidad
1	Filtro atrapa hojas	1
2	Codo 45° de Ø75mm	2
3	Tee de Ø75x50x75mm	1
4	Adaptador Ø75x110mm	2
5	Pelota de flotación	1
6	Tanque de primera descarga de 60 L	1
7	Válvula de 1/2" PVC	1
8	Filtro de malla Ø2"	1
9	Codo 90° Ø50mm	1
10	Codo 90° Ø1"	5
11	Tee de Ø1/2"x1"x1/2"	1
12	Bomba sumergible 1 HP	1
13	Codo 90° Ø1/2"	1
14	Presostato de bomba	1
15	Llave de manguera 1/2"	2
16	Filtro de 5 etapas	1
17	Tanque de agua de 1100 L	1
18	Tee de Ø1/2"x1/4"x1/2"	1
19	Union universal pvc 1"	1



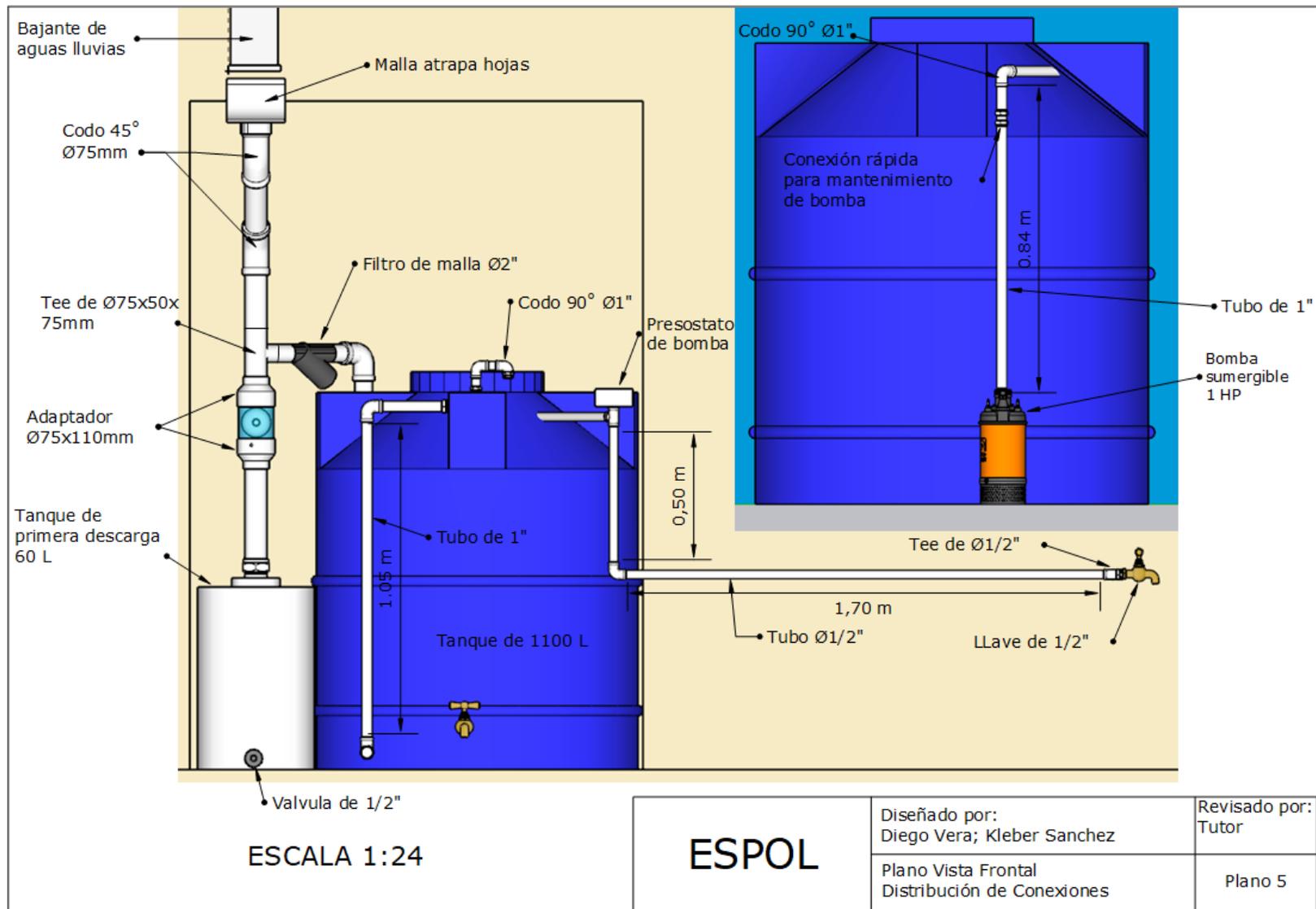
ESPOL

Diseñado por:  
Diego Vera; Kleber Sanchez

Revisado por:  
Tutor

Plano Detalle de  
Distribución de Conexiones

Plano 4



Plano 7 Planos del sistema 5 de 5