

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

"Diseño e Implementación de un Sistema de Aprovechamiento de  
Agua Lluvia, como Alternativa para el Ahorro de Agua Potable en  
una Planta de Detergentes"

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Examen Complexivo

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Ivan Ignacio López Carvajal

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

## AGRADECIMIENTO

A mi familia en general por el apoyo, y credibilidad en mis decisiones tomadas a lo largo de mi vida.

# DEDICATORIA

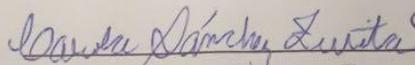
A MIS PADRES

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

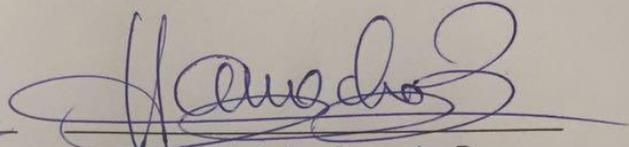
A MIS HERMANAS

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



M.Sc. Carola Sánchez Z.

VOCAL



M.Sc. Federico Camacho B.

VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Examen Complexivo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Ivan Ignacio Lopez Carvajal

## RESUMEN

El aprovechamiento del agua lluvia para diferentes usos es una práctica importante desde el punto de vista ambiental y económico, si se tiene en cuenta la gran demanda del recurso sobre las cuencas hidrográficas, el alto grado de contaminación de las fuentes superficiales y los elevados costos por el uso de agua potable en el sector industrial.

Este estudio presenta el diseño e implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, como alternativa para el ahorro en una empresa de detergentes. Además, se presenta un análisis de viabilidad técnica de dicho proyecto.

Para esto, se analizaron los siguientes aspectos: ubicación de la industria y su accesibilidad a una fuente de agua potable, definición del proceso en el cual se aprovechará el agua lluvia y el diseño del proceso de captación, almacenamiento y distribución. Una vez que se implementó el proyecto, se procedió a evaluar las ventajas del sistema en montaje y puesta en marcha.

## INTRODUCCIÓN

El proceso de fabricación de detergentes se lo puede dividir en dos etapas, primaria y auxiliar. Para el propósito de este estudio se describirá la etapa auxiliar, en donde se encuentra el proceso de disolución de silicato, que consiste en ingresar la materia prima silicato de sodio en piedra en el autoclave disolutor, el cual consume 4500 litros de agua potable para transformarlo en un semielaborado.

En este proyecto se logró dimensionar un sistema de captación, almacenamiento y distribución del agua lluvia para ser utilizado en el proceso de disolución del silicato, lo que permitirá reducir el consumo de agua potable en la planta de detergentes.

Mediante las estadísticas pluviométrías de la ciudad de Guayaquil de los últimos seis años, se determinó la media aritmética de agua lluvia que podría ser captada por el sistema propuesto. Por otro lado, para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento se utilizó la metodología presentado por el CEPIS [2].

Para el cálculo del diámetro nominal del colector de aguas lluvias se utilizó la tabla presentada en [5], la cual está en función del área de captación y de la pendiente de la tubería. La bomba centrífuga se la seleccionó mediante el cálculo de pérdidas en tuberías y en accesorios.

## **Objetivo General**

Diseñar e implementar un sistema de captación, almacenamiento y distribución de aguas lluvias en una planta de detergentes.

## **Objetivos Específicos**

- Diseñar un sistema de captación de aguas lluvias para una empresa que fabrica detergente.
- Seleccionar los principales componentes del sistema de reutilización de aguas lluvias.
- Implementar el sistema propuesto.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INTRODUCCION .....	III
OBJETIVO GENERAL.....	IV
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	IV
ÍNDICE GENERAL.....	V
ABREVIATURA Y SIMBOLOS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
<b>CAPÍTULO 1</b>	
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Aspectos generales de la empresa estudio.....	1
1.2. Captación de agua lluvia.....	2
1.3. Volumen de almacenamiento de agua.....	2
<b>CAPÍTULO 2</b>	
2. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA	
LLUVIA.....	5
2.1. Ciclo de funcionamiento.....	5

**CAPÍTULO 3**

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA..9
- 3.1. Selección de los componentes del sistema de aguas lluvias.....9

**CAPÍTULO 4**

4. COSTO E IMPLMETACION DEL SISTEMA..... 19
- 4.1. Costos del proyecto..... 19
- 4.2. Proceso constructivo y montaje del sistema de aguas lluvias..... 20

**CAPÍTULO 5**

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 26
- 5.1. Conclusiones..... 26
- 5.2. Recomendaciones..... 27

**BIBLIOGRAFÍA**

**ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS**

$P_{pi}$	Precipitación promedio mensual	$\frac{l}{m^2}$
$A_i$	Oferta de agua mensual	$m^3$
$C_e$	Coeficiente de escorrentía	adimensional
$A_c$	Área de captación	$m^2$
$D_i$	Demanda de agua mensual	$m^3$
$A_{ai}$	Oferta de agua acumulada	$m^3$
$D_{ai}$	Demanda de agua acumulada	$m^3$
$V_i$	Volumen de almacenamiento	$m^3$

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Típico conjunto industrial en Ecuador.....	2
Figura 2.1	Descripción del ciclo de aprovechamiento de aguas lluvias.....	6
Figura 2.2	Techado de la planta, medio captación de aguas lluvias.....	7
Figura 2.3	Tanques de almacenamiento de agua lluvia.....	7
Figura 2.4	Filtros para retención de sólidos.....	8
Figura 2.5	Sistema de captación, almacenamiento y distribución de agua lluvia.....	8
Figura 3.1	Dimensiones del área proyectada para captación de agua lluvia.....	11
Figura 3.2	Detalle típico de conexiones de tuberías.....	14
Figura 3.3	Ingreso de diámetros y longitudes de tubería en Pipe Flow Expert.....	16
Figura 3.4	Curva característica de bomba centrífuga HF 5AM 37.....	17
Figura 3.5	Curvas del sistema de tubería y de la bomba seleccionada...	18
Figura 4.1	Construcción de Soportes para tubería principal.....	20
Figura 4.2	Fijación de soportes a la estructura de la Planta.....	21
Figura 4.3	Reubicación de canaleta eléctrica y tuberías.....	21
Figura 4.4	Mampostería para el paso de tubería entre pisos.....	22
Figura 4.5	Fabricación de filtros retenedores de sólidos.....	22
Figura 4.6	Montaje de Filtro de sólidos al ingreso del tanque.....	23
Figura 4.7	Ubicación y pintado de tanques de almacenamiento.....	23
Figura 4.8	Conexiones en la tubería de succión de la bomba.....	24
Figura 4.9	Conexiones en la tubería de descarga de la bomba.....	24
Figura 4.10	Conexión en la autoclave de silicato de sodio.....	25

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Precipitación mensual período 2009-2014.....	3
Tabla 2.	Oferta de agua lluvia mensual.....	10
Tabla 3.	Factor de escorrentía para diferente materiales de captación...	11
Tabla 4.	Volumen disponible de agua lluvia para ser almacenado.....	12
Tabla 5.	Diámetro de colector para una intensidad de lluvia de $10 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$ ...	13
Tabla 6.	Velocidades recomendadas en tuberías.....	14
Tabla 7.	Características generales del circuito hidráulico de bombeo.....	15
Tabla 8.	Resumen de costos de inversión para implementar el sistema en la empresa de detergentes.....	19

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Aspectos generales de la empresa en estudio

El desarrollo del proyecto se lo efectuó en una empresa dedicada a la fabricación de detergente y otros productos de consumo masivo, la cual está ubicada en la ciudad de Guayaquil, en el kilómetro 24 de la vía a Daule. La empresa, dentro de sus políticas de seguridad, salud ocupacional y sostenibilidad promueve el desarrollo de planes de acción que permitan minimizar impactos ambientales generados en sus operaciones y procesos. De aquí, se tiene que el consumo de agua potable en los distintos procesos es un factor determinante.

Uno de los procesos en los que existe más demanda de agua es el de disolución de silicato de sodio. Este proceso consiste en ingresar 4.175 kg de silicato en piedra, 4.500 kg de agua en un tanque presurizado. Luego se introducen 1.525 kg de vapor durante 255 minutos, hasta obtener la concentración apropiada de silicato, para que éste sea utilizado como materia prima líquida, para la elaboración del detergente.

Debido a este gran consumo de agua, se propone la utilización de agua lluvia como una alternativa de ahorro.

## 1.2 Captación de agua lluvia

Es la superficie destinada para la recolección del agua lluvia. La mayoría de los sistemas utilizan los techos de las edificaciones, los cuales deben tener una pendiente adecuada (no inferior al 5%) y superficie, a fin de que se facilite el escurrimiento del agua hacia el sistema de recolección. Esta situación representa una buena oportunidad de desarrollo, ya que la mayor parte de la industria ecuatoriana presenta grandes áreas de techado (ver Fuente: elaboración propia

**Figura 1.1)**



Fuente: elaboración propia

**Figura 1.1 Típico conjunto industrial en Ecuador**

## 1.3 Volumen de almacenamiento de agua

Para el cálculo del promedio mensual de precipitaciones, se utilizó los datos pluviométricos de los últimos 6 años en la zona del proyecto, esta información fue solicitada al Instituto Oceanográfico de la Armada-Inocar

[1]. Con los datos obtenidos, se estiman los promedios mensuales de precipitación de todos los años evaluados, para lo cual se utilizó el método de media aritmética.

$$P_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \quad \text{Ecuación 1}$$

En la Tabla 1, se presentan los valores de precipitación mensual desde el año 2009 hasta el año 2014.

**Tabla 1**  
Precipitación mensual  
al período  
2009-  
2014  
en

Mes	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Enero</b>	309,50	124,30	102,10	350,20	109,30	168,80
<b>Febrero</b>	226,70	401,50	161,20	735,50	169,80	122,10
<b>Marzo</b>	266,10	174,40	21,90	400,80	365,80	87,80
<b>Abril</b>	96,50	331,60	203,50	204,60	72,60	111,80
<b>Mayo</b>	26,90	22,70	0,00	174,00	1,30	155,20
<b>Junio</b>	0,00	0,00	11,50	0,00	0,00	0,00

l/m<sup>2</sup>

<b>Julio</b>	0,00	0,00	7,20	0,00	0,00	0,00
<b>Agosto</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Septiembre</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20
<b>Octubre</b>	0,00	0,00	1,80	0,60	0,00	2,80
<b>Noviembre</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Diciembre</b>	0,00	61,80	15,00	1,90	0,00	0,00

Fuente: Inocar

La cantidad de agua que podría ser captada por mes se la calcula con la siguiente fórmula. [2]:

$$A_i = \frac{P_{pi} * C_e * A_c}{1000} \quad \text{Ecuación 2}$$

Además del proceso, se conoce la demanda mensual de agua para la disolución del silicato de sodio; por lo tanto, se podría calcular el volumen del tanque de almacenamiento mediante la siguiente ecuación. [2]:

$$V_i = A_{ai} - D_{ai} \quad \text{Ecuación 3}$$

# CAPÍTULO 2

## 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA.

### 2.1 Ciclo de funcionamiento

El sistema propuesto consta de 3 etapas (ver

Fuente: elaboración propia

**Figura 2.5).** En la primera etapa (de llenado), se encuentran los sumideros y canaletas para la captación del agua lluvia (ver Fuente: elaboración propia

**Figura 2.2).** Mediante una red de tuberías, el agua es transportada hacia la segunda etapa de almacenamiento (ver Fuente: elaboración propia

**Figura 2.3);** pero debido a la calidad del agua requerida, se deberá primero pasar por un filtro retenedor de sólidos (ver

Fuente: elaboración propia

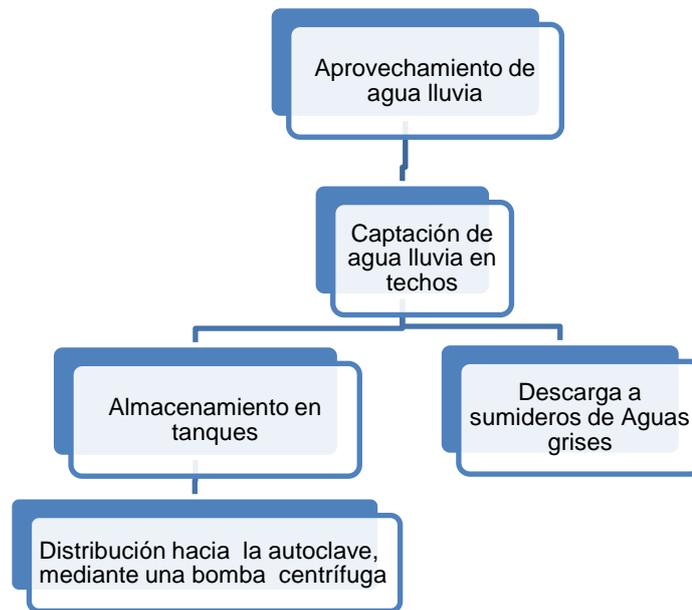
**Figura 2.5).** La tercera etapa de distribución, consta de una bomba centrífuga (seleccionada de acuerdo a los cabezales hidrostáticos y

pérdidas por fricción en las tuberías y accesorios). La bomba estará ubicada lo más cerca posible al tanque, con el propósito de disminuir la longitud de la tubería de succión y así minimizar problemas de cavitación.

En la

Fuente: elaboración propia

**Figura 2.1**, se presenta el ciclo de aprovechamiento de aguas lluvias.



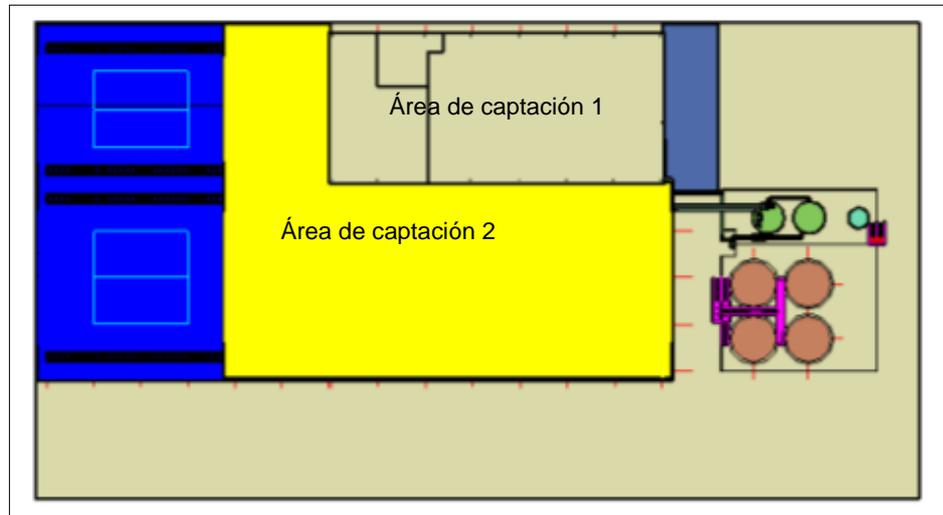
Fuente: elaboración propia

**Figura 2.1 Descripción del Ciclo de Aprovechamiento de Aguas Lluvias.**

A continuación, se presentan detalles típicos de los elementos que conforman el sistema de aguas lluvias.

En la Fuente: elaboración propia

**Figura 2.2** se muestra la distribución general de la planta de detergentes, la zona en amarillo es el área de techado, la cual será el medio de captación de aguas lluvias.



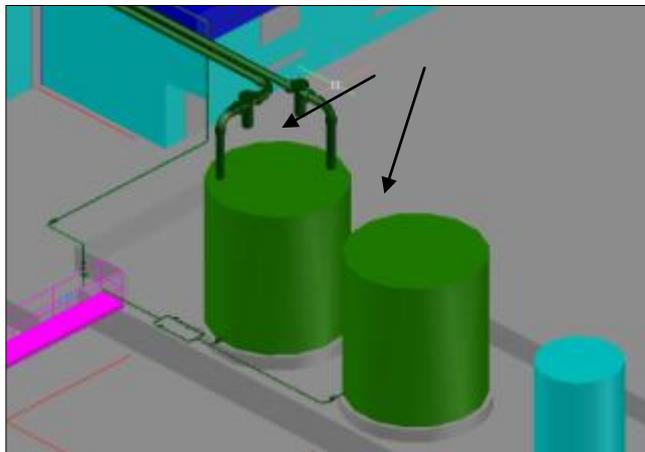
Fuente: elaboración propia

**Figura 2.2 Techado de la Planta, Medio Captación de Aguas Lluvias,**

En la Fuente: elaboración propia

**Figura 2.3** se observa el área destinada para la ubicación de los tanques en la planta.

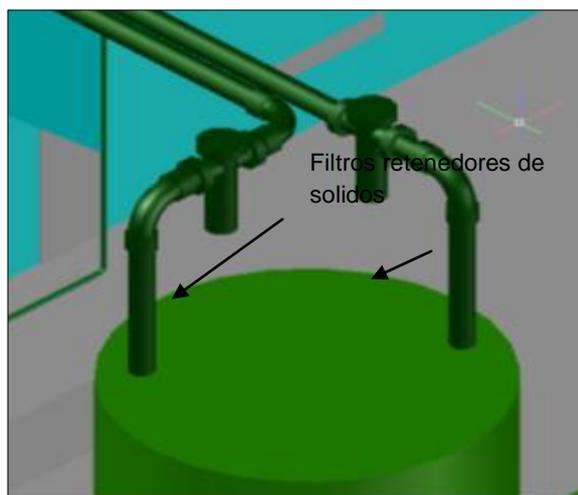
Tanques de almacenamiento  $45 \text{ m}^3$



Fuente: elaboración propia

### Figura 2.3 Tanques de Almacenamiento de Agua Lluvia

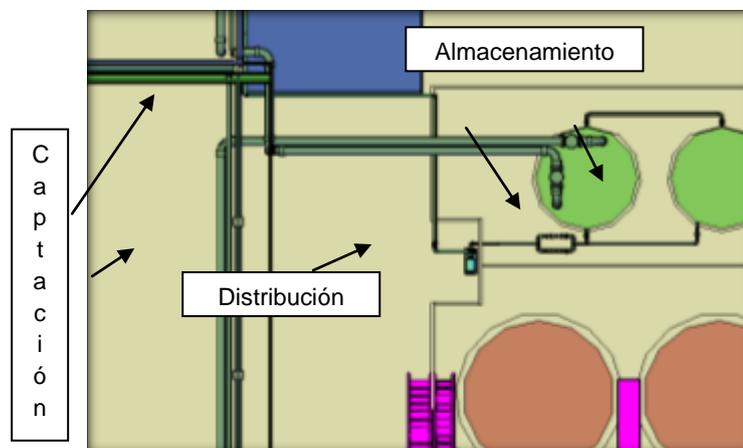
En la Figura 2.4 se presenta la ubicación y el detalle de conexión de los filtros retenedores de sólidos.



Fuente: elaboración propia

### Figura 2.4 Filtros para Retención de Sólidos

Finalmente, en la Figura 2.5 se muestra las 3 etapas del ciclo de aprovechamiento de agua lluvia.



Fuente: elaboración propia

**Figura 2.5 Sistema de Captación, Almacenamiento y Distribución  
de Agua Lluvia.**

# CAPÍTULO 3

## 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS

### 3.1 Selección de los componentes del sistema de aguas lluvias

Para el cálculo del volumen de almacenamiento se utilizó la ecuación 3, la cual relaciona la oferta y demanda de agua. Se conoce que la demanda mensual del autoclave para diluir el silicato de sodio es de  $60 m^3$ , debiendo aumentar a este valor un 30%, debido a que también se proveerá de agua a un tanque de reproceso con una capacidad  $18 m^3$ .

Para calcular el promedio mensual de precipitaciones se utilizó la ecuación 1. De acuerdo con la referencia [3], se puede asumir un valor de 20% anual en pérdidas debidas a la evaporación, almacenamiento y a la ineficiencia del sistema de captación. En la Tabla 2 se presenta el resumen de cálculos.

**Tabla 2** Oferta de agua lluvia mensual, año 2014.

..Mes	Promedio considerando pérdidas del 20% anual (l/m <sup>2</sup> )	Ce	Ac (m <sup>2</sup> )	Ai (m <sup>3</sup> )
<b>Enero</b>	190,80	0,80	2287,07	349,10
<b>Febrero</b>	297,75	0,80	2287,07	544,79
<b>Marzo</b>	215,81	0,80	2287,07	394,86
<b>Abril</b>	167,27	0,80	2287,07	306,04
<b>Mayo</b>	62,29	0,80	2287,07	113,98
<b>Junio</b>	1,88	0,80	2287,07	3,45
<b>Julio</b>	1,18	0,80	2287,07	2,16
<b>Agosto</b>	0,00	0,80	2287,07	0,00
<b>Septiembre</b>	0,20	0,80	2287,07	0,36
<b>Octubre</b>	0,85	0,80	2287,07	1,56
<b>Noviembre</b>	0,00	0,80	2287,07	0,00
<b>Diciembre</b>	12,90	0,80	2287,07	23,60

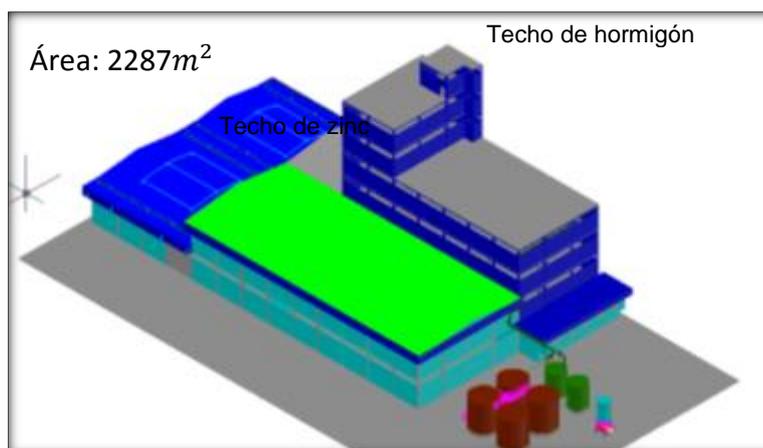
Fuente: elaboración propia

Para calcular la oferta de agua mensual, se aplica la ecuación 2. El medio de captación tiene un área aproximada de 2287 m<sup>2</sup> (ver Figura ), y está construido de concreto y planchas de zinc. El factor de escorrentía, el cual es la porción de la precipitación que fluye hacia los sumideros y canales, se lo tomó como 0.8 (ver )

**Tabla 3 Factor de Escorrentía para Diferentes Materiales de Captación.**

TIPOS DE CAPTACION	Ce
<b>Cubiertas superficiales</b>	
Concreto	0.60-0.80
Pavimento	0.50-0.60
Geomembrana de PVC	0.85-0.90
<b>Azotea</b>	
Azulejos, teja	0.80-0.90
Hojas de metal acanaladas	0.70-0.90
<b>Orgánicos (hojas con barro)</b>	<0.20
<b>Captación en tierra</b>	
Suelo con pendientes menores al 10%	0.00-0.30
Superficies naturales rocosas	0.20-0.50

Fuente: bibliografía [4]



**Figura 3.1 Dimensiones del Área Proyectada para Captación de Agua Lluvia.**

Fuente: elaboración propia

Conocida la oferta y demanda de agua mensual, se procede al cálculo del volumen de agua lluvia a ser almacenado (ver Tabla 4). De los resultados obtenidos, se comprueba también que el área de captación es

lo suficientemente grande para proveer de agua al proceso de silicato durante todo el año.

**Tabla 4 Volumen disponible de agua lluvia para ser almacenado.**

Mes	Aai(m <sup>3</sup> )	Dai(m <sup>3</sup> )	V. tanque (m <sup>3</sup> )
Enero	90,00	78,00	12,00
Febrero	180,00	156,00	24,00
Marzo	270,00	234,00	36,00
Abril	360,00	312,00	48,00
Mayo	450,00	390,00	60,00
Junio	470,00	468,00	2,00
Julio	455,61	546,00	-----
Agosto	455,61	624,00	-----
Septiembre	455,97	702,00	-----
Octubre	457,53	780,00	-----
Noviembre	457,53	858,00	-----
Diciembre	481,13	936,00	-----

Fuente: elaboración propia

Debido al reducido espacio en la planta, se consideró la selección de dos tanques fuera de uso con capacidad de 45 m<sup>3</sup>, con lo cual el sistema solo podrá proveer agua al autoclave los seis primeros meses del año; los últimos seis meses no se consideran ya que no existen lluvias y los volúmenes serían negativos. Para evitar el rebose de los tanques, se incluye una red de tuberías secundarias, las cuales desfugarán el excedente de agua a la red de drenaje de aguas grises.

Tomando en cuenta el área acumulada de agua, que tiene un valor máximo de  $2287,07 \text{ m}^2$  (ver Tabla 5); asumiendo un colector de aguas lluvias con pendiente de 4%, se debe encontrar el diámetro nominal del colector.

Para esto, se usa la Tabla 5; en la cual se considera una pendiente de 4%, una superficie de captación de  $3850 \text{ m}^2$ , (ver Tabla 5); y una máxima intensidad de lluvia de  $100 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$  [5]. De aquí se obtiene que el diámetro nominal del colector es de 250 mm (10 pulgadas).

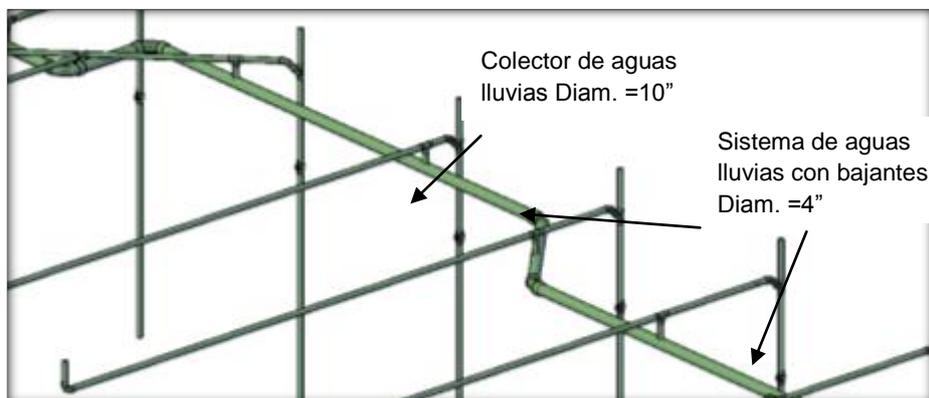
**Tabla 5** Diámetro de Colector para una Intensidad de Lluvia de  $100 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$ .

Superficie de captación [ $\text{m}^2$ ]			Diámetro de colector [mm]
Pendiente del colector			
1%	2%	4%	
125	178	253	90
229	323	458	110
310	440	620	125
614	862	1228	160
1070	1510	2140	200
1920	2710	3850	250
2016	4589	6500	315

Fuente: bibliografía [5]

Esta empresa cuenta con un sistema de aguas lluvias con bajantes de drenaje de 4". Entonces, lo que se propuso fue acoplar el colector principal de 10" al sistema existente.

En la Figura se muestra un detalle típico de estas conexiones.



Fuente: elaboración propia

**Figura 3.2 Detalle Típico de Conexiones de Tuberías**

El diámetro de la tubería de succión y descarga se lo seleccionó de acuerdo a las velocidades recomendadas en [8]. Para una velocidad en carga y descarga de 2 m/s se obtiene un diámetro de 2", (ver Tabla 6).

**Tabla 6 Velocidades recomendadas en tuberías**

Velocidades recomendadas, para diámetros de tubería de 2"	Unidades SI
Entrada a bombas (Líneas de succión)	0.6-2.2 m/s
Salida de bombas (Líneas de descarga o de presión)	2.4-7.5 m/s
Líneas de retorno	0.6-2.6 m/s

Fuente: bibliografía [8]

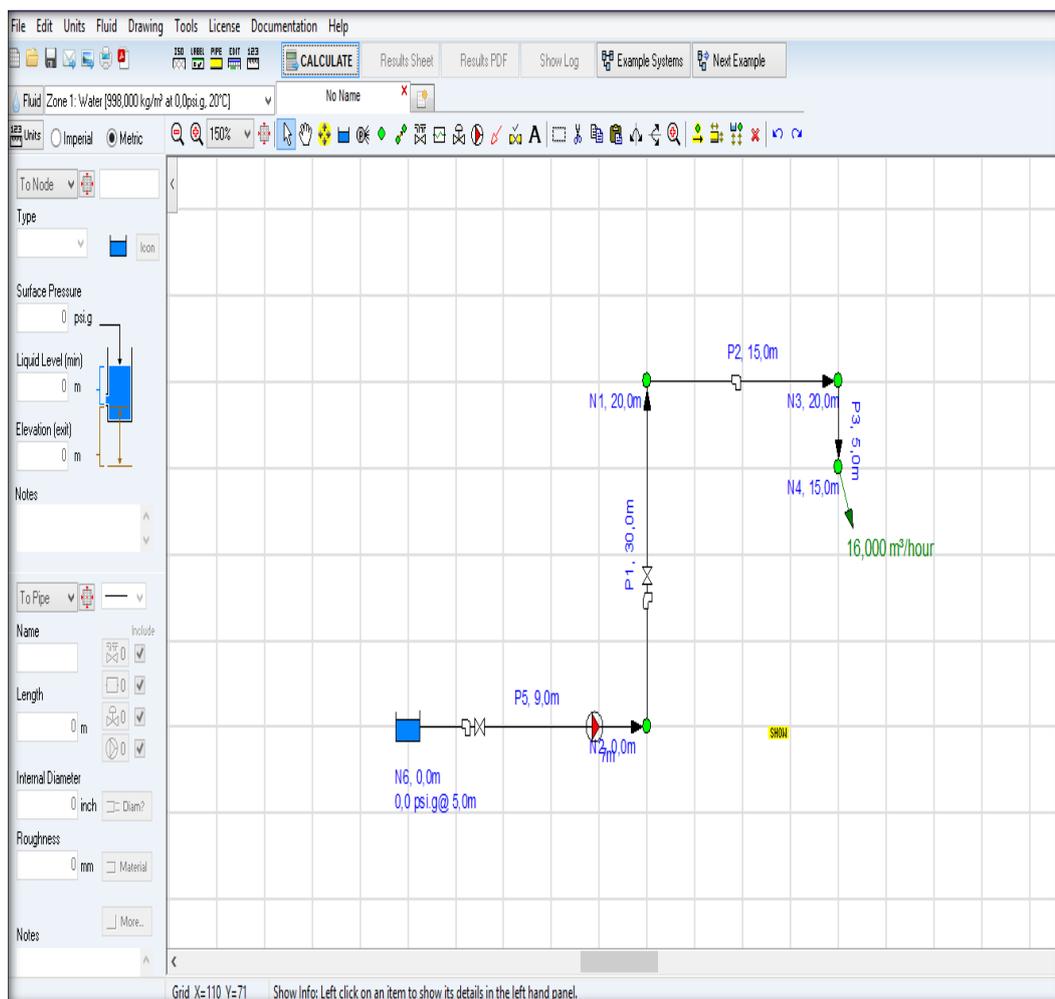
Para la selección de la bomba centrífuga se tienen los siguientes datos del sistema de tuberías:

**Tabla 7 Características Generales del Circuito Hidráulico de Bombeo,**

	<b>Diámetro Nominal [pulgadas]</b>	<b>Longitud [metros]</b>	<b>Cant. de Codos</b>	<b>Cant. de tees</b>	<b>Cant. de Válvulas de cierre rápido</b>
<b>Succión</b>	2	9	2	2	4
<b>Descarga</b>	2	50	11	2	3

Fuente: elaboración propia

Los datos presentados en la Tabla 7 se ingresaron al programa de cálculo de sistemas de tuberías Pipe Flow Expert [6]. Este programa permite la selección de la bomba óptima para la configuración propuesta (ver Figura 3.3), además de calcular las pérdidas por longitud de tubería y por accesorios.

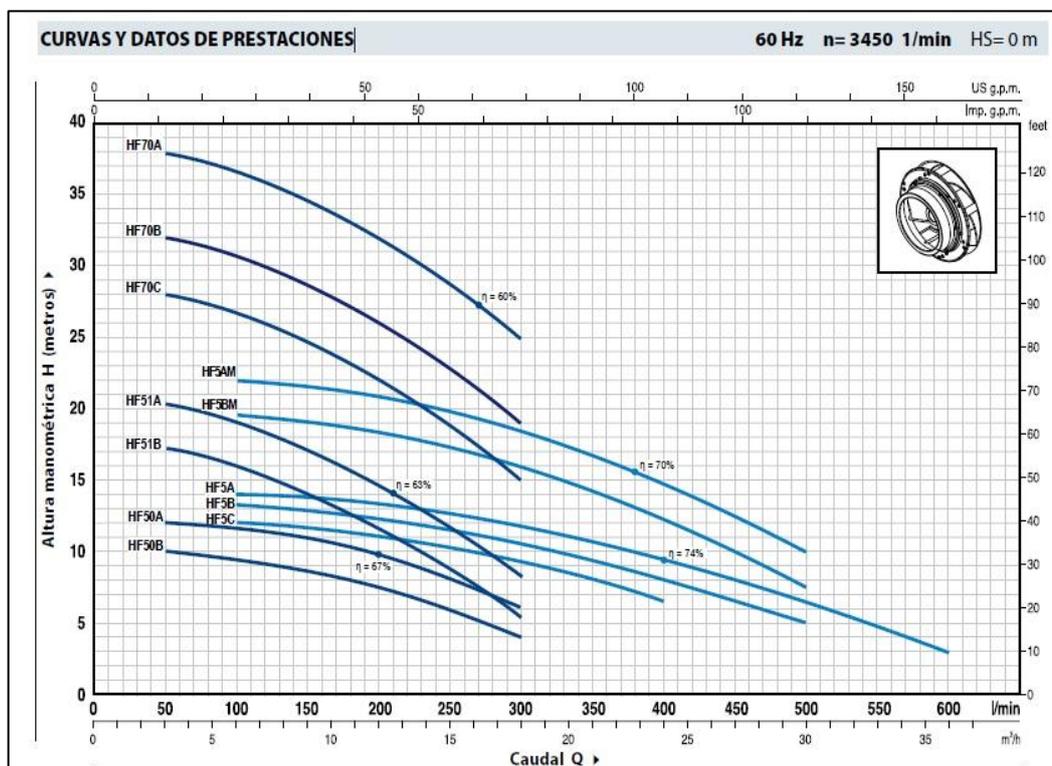


Fuente: elaboración propia

**Figura 3.3 Ingreso de Diámetros y Longitudes de Tubería en Pipe Flow Expert.**

De acuerdo al mencionado programa, el caudal requerido en un ciclo del proceso de silicato es de  $16 \frac{m^3}{h}$ . Las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios ascienden a 17 metros de cabezal hidráulico. Con esta información se seleccionó una bomba centrífuga de 2 Hp a 3450 rpm y

60hz. En la Figura 3.4 se muestra la curva característica de la bomba seleccionada.



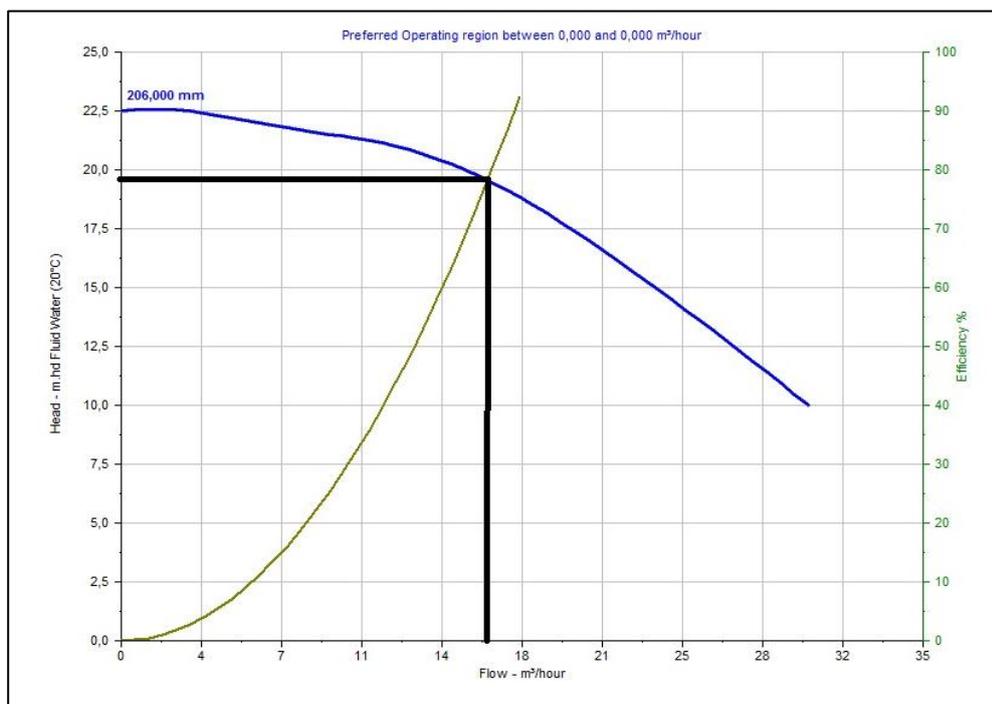
MODELO		POTENCIA		Q	H metros												
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m³/h	0	3	6	9	12	15	18	21	24	30	36	
				l/min	0	50	100	150	200	250	300	350	400	500	600		
HFm 50B	HF 50B	0.37	0.50		10	10	9.5	8.5	7.5	6	4						
HFm 50A	HF 50A	0.55	0.75		12	12	11.5	11	9.6	8	6						
HFm 51B	HF 51B	0.60	0.85		18.2	17.2	16	14	11.5	9	5.4						
HFm 51A	HF 51A	0.75	1		21.2	20.2	19	17	14.5	11.6	8.4						
HFm 70C	HF 70C	1.1	1.5		29	28	26.5	24.5	22	18.5	15						
HFm 70B	HF 70B	1.5	2		33	32	30.5	28.5	26	22.5	19						
-	HF 70A	2.2	3		39	38	36.5	34.5	32	28.5	25						
HFm 5C	HF 5C	0.60	0.85		12.5	-	12	11.7	11	10.2	9.2	8	6.5				
HFm 5B	HF 5B	0.75	1		13.7	-	13.2	13	12.5	11.6	10.5	9.2	8	5			
HFm 5A	HF 5A	1.1	1.5		14.5	-	13.8	13.5	13.2	12.6	11.8	10.5	9.2	6.5	3		
HFm 5BM	HF 5BM	1.1	1.5		20.2	-	19.2	19	18	17	16	14	12	7.5			
HFm 5AM	HF 5AM	1.5	2		22.5	-	22	21.5	21	20	18.5	16.6	14.5	10			

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grade 3.

Fuente: bibliografía [7]

Figura 3.4 Curva Característica de Bomba Centrifuga HF 5AM.

En la Figura se observa la curva del sistema y la curva característica de la bomba seleccionada, las cuales se intersectan en el punto óptimo de funcionamiento.



Fuente: elaboración propia

**Figura 3.5 Curvas del Sistema de Tubería y de la Bomba Seleccionada.**

# CAPÍTULO 4

## 4. COSTO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

### 4.1 Costos del proyecto

A continuación se resumen los gastos para implementar el sistema de aprovechamiento de agua lluvias.

**Tabla 8 Resumen de costos de inversión para implementar el sistema en la empresa de detergentes.**

Ítem	Descripción	Valor total
1	Desarrollo de ingeniería básica y de detalle (Planos P&D, layout, isométricos).	\$ 1.104,00
2	Adecuaciones en tanques actuales a ser reutilizados de acero A-36 con capacidad de 45 m <sup>3</sup> .	\$ 1.288,00
3	Suministro e instalación de una bomba centrífuga de marca Pedrollo, serie HF.	\$ 2.800,40
4	Suministro e instalación de tubería para recolectar aguas lluvias dn=10"	\$ 1.613,68
5	Instalación de tuberías de rebose en tanques	\$ 423,20
6	Instalación de accesorios, válvulas de control de flujo y filtros de retención de sólidos,	\$ 864,80
7	Instalación eléctricas de bombas e instrumentación	\$ 3.800,00
8	Pintura y señalización de tubería de acuerdo a las normas de seguridad industrial.	\$ 722,78
9	AIU (gastos administrativos, imprevistos y utilidad)	\$ 3.929,54
	TOTAL	\$ 16.546,00

Fuente: elaboración propia

La empresa de detergentes, antes de implementar el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, tenía un gasto anual por concepto de agua potable para la disolución de silicato de \$3.568. Conociendo que el

sistema solo proveerá de agua al proceso en los primeros seis meses se tendrá un ahorro de \$ 1.748.

#### **4.2 Proceso constructivo y montaje del sistema de aguas lluvias**

Previo al montaje del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, se realizaron trabajos preliminares de adecuaciones dentro de la planta de detergentes.

En la Figura 4.1 se observa el montaje de los soportes del colector de diámetro nominal 10". Estos se construyeron con ángulos de acero al carbono de 1-1/2"x1/8", y están colocados cada uno a 1,5 metros de distancia, de acuerdo a la distribución estructural actual de la planta.



Fuente: elaboración propia

**Figura 4.3 Construcción de Soportes para Tubería Principal,**

Los soportes fueron fijados a la estructura de la planta mediante pernos de expansión de acero galvanizado de 1/2"x2", como se muestra en la

Fuente: elaboración propia

**Figura 4.**



Fuente: elaboración propia

**Figura 4 Fijación de Soportes a la Estructura de la Planta.**

Para evitar desvíos en la trayectoria del colector de aguas lluvias, se procedió a reubicar tubos o canaletas de otros sistemas, como se observa en la Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.3.**



Fuente: Elaboración propia

### **Figura 4.3 Reubicación de Canaleta Eléctrica y Tuberías.**

Para el paso de la tubería entre pisos de la planta, se realizó trabajos de albañilería y soldadura, como se muestra en la Figura 4.4.



Fuente: elaboración propia

### **Figura 4.4 Mampostería para el Paso de Tubería entre Pisos.**

En la Figura 4.5 se presenta la fabricación de los filtros tipo canastillas para retención de sólidos, para lo cual se utilizó planchas perforadas de 2 mm de espesor de acero inoxidable.



Fuente: elaboración propia

### **Figura 5 Fabricación de filtros retenedores de sólidos.**

En la Figura se observa el montaje del sistema de filtrado al ingreso del tanque de almacenamiento.



Fuente: elaboración propia

### **Figura 4.6 Montaje de filtro de sólidos al ingreso del tanque.**

Los tanques de almacenamiento de  $45 m^3$  fueron ubicados de acuerdo a los planos de disposición general, se los pintó de acuerdo a las normativas de seguridad de la planta (ver



Fuente: elaboración propia

**Figura ).**

Fuente: elaboración propia

#### **Figura 4.7 Ubicación y Pintado de Tanques de Almacenamiento.**

En las Figuras 4.8 y 4.9 se muestran las conexiones en la succión de la bomba, los dos tanques están comunicados mediante un sistema de bypass.



Fuente: elaboración propia

#### **Figura 4.8 Conexiones en la Tubería de Succión de la Bomba.**



Fuente: elaboración propia

**Figura 4.9 Conexiones en la Tubería de Descarga de la Bomba.**  
En la

Fuente: elaboración propia

**Figura** se muestra las conexiones de la tubería de descarga con el autoclave del proceso de silicato.



Fuente: elaboración propia

**Figura 4.10 Conexión en el Autoclave.**



# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Con los datos pluviométricos y la metodología implementada en este estudio, se logró diseñar un sistema de captación de aguas lluvias en una planta de detergentes. El sistema no sólo es eficiente desde el punto de vista de sostenibilidad ambiental, sino que es capaz de satisfacer la demanda del autoclave en el proceso de fundición del silicato de sodio.
- El consumo anual de agua potable para el proceso de disolución del silicato era de 1140 m<sup>3</sup>. Con la implementación del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias este consumo se redujo a 570 m<sup>3</sup>, proporcionando un ahorro anual de \$1.784, influyendo también con que ya se contaba con tanques de almacenamiento.
- Gracias a la implementación de políticas ambientales en la fábrica en estudio, se logró desarrollar el proyecto en todas sus fases.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Para garantizar el buen funcionamiento del sistema, se debe contar con estadísticas de precipitaciones de por lo menos 6 años en la ciudad donde está ubicada la planta.
- La utilización de tuberías de PVC para el colector y bajantes permiten minimizar tiempos en el proceso de montaje del sistema de aguas lluvias.
- El diseño propuesto puede ser aplicado en diferentes empresas, pero se deberá conocer la calidad de agua requerida por el proceso.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Instituto Oceanográfico de la Armada INOCAR, Boletín Climático mensual de Guayaquil y sus alrededores, Guayaquil, 2014
  
- [2] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, y Organización Mundial de la Salud. Especificaciones Técnicas Captación de Agua de Lluvia para Consumo Humano, 2003.
  
- [3] Abdulla, F.A. and Al-Shareef, Assessment of rainwater roof harvesting systems for household water supply in Jordan, 2006.
  
- [4] Ballén S., J. A., Galarza G., M. A., and Ortiz M., Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia para Vivienda Urbana. VI SEREA – Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, 2006.
  
- [5] Roca. Manuel, Carratala. Juan, Cálculo de redes de saneamientos, Escuela Técnica Superior de Arquitectura las Palmas de Gran Canaria, 2006

[6] Daxesoft. Ltd., Guía del usuario Pipe Flow Expert, Ucrania, 2014.

[7] Pedrollo S.P.A., Catalogo general de bombas centrífugas 60Hz,  
Guayaquil, 2014.

[8] Mott Robert, Mecánica de fluidos