

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Ambiental



TESIS

**Estudio del Comportamiento de Cebado y la Bajante Principal de
un Sistema de Drenaje Sifónico con un Sumidero**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Sanitario

Elaborado por

Jose Luis Lliulli Lopez

 [0009-0006-7775-5534](https://orcid.org/0009-0006-7775-5534)

Asesor

Ing. Roger Edmundo Salazar Gavelán

 [0009-0002-4663-4888](https://orcid.org/0009-0002-4663-4888)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Lliulli Lopez [1]
Referencia/Reference	[1] J. L. Lliulli Lopez, " <i>Estudio del comportamiento de cebado y la bajante principal de un sistema de drenaje sifónico con un sumidero</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Lliulli, 2025)
Referencia/Reference	Lliulli, J. L. (2025). <i>Estudio del comportamiento de cebado y la bajante principal de un sistema de drenaje sifónico con un sumidero</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mi Madre Justina Lopez L. y a mi Padre, Ismael Lliulli T., por ser mi fuente de inspiración y apoyo incondicional a lo largo de este camino. Su ejemplo, esfuerzo y amor han sido la base de mi formación y crecimiento.

A mi esposa Haylin Montoro y mis hijos, Dylan Jose Lliulli M. y Gael Jose Lliulli M., quienes representan mi mayor motivación para seguir adelante y alcanzar cada meta.

Que este logro sea también un ejemplo de perseverancia para ustedes.

Agradecimientos

Este proyecto ha sido posible gracias al apoyo constante de mi familia, cuya motivación e inspiración me impulsaron a culminar esta investigación.

- A mis padres Ismael Lliulli T. y Justina Lopez L., por su amor, valores y enseñanza, pilares fundamentales en mi formación.
- A mi esposa, Haylin Raida Montoro O., por su apoyo incondicional y compañía en cada etapa de este proceso.
- Al Ingeniero Roger Salazar, por su tiempo, paciencia y valiosa orientación como asesor en la ejecución de la presente investigación.
- A la directora de CITRAR, Rosa Yaya, por brindarme el espacio de trabajo necesario para llevar a cabo este proyecto.
- A Rosario Blas, por su tiempo y paciencia en aportar calidad de presentación.

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo analizar el comportamiento del cebado en sistemas de drenaje sifónico que emplean dos tipos de empalme ubicados a diferentes alturas de la bajante principal. El estudio busca determinar hasta qué punto la bajante mantiene un régimen de flujo sifónico y cómo este comportamiento puede influir en futuros diseños de drenaje pluvial en edificaciones, adaptados a condiciones reales de infraestructura. La investigación experimental se desarrolló en el Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR-FIA-UNI), donde se instalaron dos configuraciones de sistemas de drenaje sifónico a escala controlada.

El primer sistema cuenta con un sumidero conectado a una tubería colectora empalmada a la bajante mediante dos codos de 45°, mientras que el segundo utiliza un codo de 90° para su unión a distintas alturas. Ambos sistemas fueron alimentados mediante una bomba centrífuga y se instrumentaron con un vacuómetro instalado en la tubería colectora, a fin de registrar presiones y variaciones de caudal. Se evaluaron doce escenarios experimentales, distribuidos en seis por cada sistema, con alturas de empalme desde 3.00 metros hasta 0.50 metros.

Para cada caso, se determinó el tiempo de cebado aproximado mediante cálculos hidráulicos basados en las condiciones generadas durante las pruebas. Los resultados mostraron que el volumen de ingreso, el caudal suministrado y la altura de empalme respecto a la bajante principal son variables determinantes para lograr un cebado eficiente y mantener el régimen sifónico.

Palabras clave: Tiempo de Cebado, Velocidad, Presión y Caudal.

Abstract

The purpose of this research is to analyze the priming behavior of siphonic drainage systems that employ two types of fittings located at different heights from the main downpipe. The study seeks to determine the extent to which the downpipe maintains a siphonic flow regime and how this behavior may influence future stormwater drainage designs in buildings, adapted to real-world infrastructure conditions. The experimental research was conducted at the Wastewater and Hazardous Waste Treatment Research Center (CITRAR-FIA-UNI), where two configurations of siphonic drainage systems were installed on a controlled scale.

The first system features a sump connected to a collector pipe connected to the downpipe by two 45° elbows, while the second uses a 90° elbow to connect at different heights. Both systems were powered by a centrifugal pump and instrumented with a vacuum gauge installed in the collector pipe to record pressure and flow variations. Twelve experimental scenarios were evaluated, distributed in six for each system, with connection heights ranging from 3.00 meters to 0.50 meters.

For each case, the approximate priming time was determined using hydraulic calculations based on the conditions generated during the tests. The results showed that the inlet volume, the flow rate supplied, and the connection height relative to the main downpipe are determining variables for achieving efficient priming and maintaining the siphoning regime.

Keywords: Priming Time, Speed, Pressure and Flow Rate.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Glosario.....	xxii
Símbolos y abreviaturas	xxiv
Introducción.....	xxv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo.....	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	1
1.2.1 Identificación del problema	1
1.2.2 Formulación del problema	2
1.3 Objetivos del estudio	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Antecedentes investigativos	3
Capítulo II. Marco teórico y conceptual.....	6
2.1 Marco teórico.....	6
2.1.1 Drenaje pluvial en edificaciones.....	6
2.1.2 Sistema de drenaje convencional	7
2.1.3 Efecto sifónico	9
2.2 Sistema de drenaje sifónico.....	9
2.2.1 Comportamiento hidráulico y ecuaciones diseño hidráulico	12
2.2.2 Cebado.....	14
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	18

3.1 Metodología de investigación (in situ)-i.....	18
3.1.1 Sistema de soporte.....	20
3.1.2 Depósito de agua.....	20
3.1.3 Succión de agua.....	21
3.1.4 Bomba centrífuga.....	22
3.1.5 Válvula de control.....	23
3.1.6 Descarga a contenedor.....	24
3.1.7 Válvula Check.....	24
3.1.8 Soporte estructural.....	25
3.1.9 Contenedor con sumidero sifónico.....	26
3.1.10 Detalles de tuberías a usar.....	27
3.1.11 Sumidero sifónico bajante secundario.....	27
3.1.12 Colector principal.....	28
3.1.13 Manovacuómetro.....	28
3.1.14 Bajante principal.....	29
3.1.15 Preparación de condiciones necesarias para el experimento.....	30
3.2. Metodología de investigación (gabinete)- ii.....	31
3.2.1 Confluencia de caudal proveniente del sumidero sifónico de 1, 1 ½ y 2 pulgadas.....	32
3.2.2. Equilibrio de energía general del sistema sifónico.....	33
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados.....	35
4.1 Cálculo hidráulico de instalación de tipo I - empalme de dos codos de 45° a la bajante principal.....	35
4.1.1 Cálculo de pérdidas de carga.....	35
4.1.2 Cálculo de factor de fricción “f”.....	36
4.1.3 Características de material y fluido.....	36
4.1.4 Coeficientes de fricción para accesorios “k”.....	37

4.1.5 Cálculo del tiempo de cebado.....	37
4.1.6 Análisis por diámetro del sumidero	38
4.1.7 Escenario 01.....	39
4.1.8 Escenario 02.....	50
4.1.9 Escenario 03.....	59
4.1.10 Escenario 04.....	68
4.1.11 Escenario 05.....	77
4.1.12 Escenario 06.....	86
4.1.13 Comportamiento del tiempo de cebado experimental y calculado.....	87
4.1.14 Análisis del coeficiente K	87
4.1.15 Análisis del error relativo.....	88
4.1.16 Comparación general entre todos los diámetros 1, 1 1/2 y 2 pulgadas	91
4.1.17 Análisis de tendencia.....	92
4.1.18 Desarrollo de la fórmula general para el tiempo de cebado	92
4.1.19 Comparación área vs caudal en cobertura de techo	95
4.2 Cálculo hidráulico de instalación de tipo II - empalme de codo de 90° a la bajante principal	97
4.2.1 Escenario 01.....	98
4.2.2 Escenario 02.....	107
4.2.3 Escenario 03.....	117
4.2.4 Escenario 04.....	127
4.2.5 Escenario 05.....	137
4.2.6 Escenario 06.....	146
4.2.7 Comportamiento del tiempo de cebado experimental y calculado.....	146
4.2.8 Análisis del coeficiente K	147
4.2.9 Análisis del error relativo.....	147
4.2.10 Comparación general entre todos los diámetros 1, 1 1/2 y 2 pulgadas	150

4.2.11 Análisis de tendencia	151
4.2.12 Desarrollo de la fórmula general para el tiempo de cebado	152
4.2.13 Análisis de la relación V/Q y el tiempo de cebado.....	153
4.2.14 Propuesta de la fórmula General para el tiempo de cebado	153
4.2.15 Comparación área vs caudal en cobertura de techo	154
Conclusiones.....	157
Recomendaciones.....	159
Referencias bibliográficas.....	160
Anexos.....	161

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Sistema de drenaje convencional	6
Figura 2: Sistema de drenaje sifónico	7
Figura 3: Sumidero convencional	8
Figura 4: Red de recolección y flujo del sistema drenaje convencional.....	8
Figura 5: Sumidero sifónico.	10
Figura 6: Red de recolección y flujo del sistema drenaje sifónico.	11
Figura 7: Esquema de drenaje sifónico.....	13
Figura 8: Procedimiento de cebado del drenaje sifónico.....	17
Figura 9: Diagrama del primer tipo de instalación con dos codos 45° empalmados a la bajante principal.....	19
Figura 10: Diagrama del segundo tipo de instalación con un codo de 90° empalmado a la bajante principal.	19
Figura 11: Piscina Bestway Steel Pro forma rectangular.	21
Figura 12: Vista de succión de agua.....	22
Figura 13: Presentación de la bomba centrífuga.....	23
Figura 14: Instalación de válvula de bola de diámetro de 2 pulgadas.	23
Figura 15: Instalación de contenedor.....	24
Figura 16: Visualización de válvula Check de diámetro de 2 pulgadas.	25
Figura 17: Instalación de soporte con dos cuerpos de andamios.....	25
Figura 18: Sumidero sifónico instalado en el contenedor.....	26
Figura 19: Bajante secundario y sumidero sifónico.....	27
Figura 20: Recorrido horizontal del colector principal.....	28
Figura 21: Mano vacuómetro.....	29
Figura 22: Bajante principal de dos tipos de instalación.....	30
Figura 23: Interruptor termomagnético.....	31

Figura 24: Diagrama del segundo tipo 90 de instalación con un codo de 90 empalmado a la bajante principal.....	32
Figura 25: Diagrama del primer tipo 45 de instalación con dos codos de 45° empalmados a la bajante principal.....	33

Lista de Gráficos

	Pág.
Gráfico 1: Comparación de tiempo de cebado y error relativo – tipo 45.....	89
Gráfico 2: Presión experimental y tiempo de cebado de tipo 45.	89
Gráfico 3: Relación entre Altura y tiempo de cebado-tipo 45.	90
Gráfico 4: Relación entre altura y velocidad-tipo 45.....	90
Gráfico 5: K promedio respecto al tiempo de cebado experimental, tipo 45.....	91
Gráfico 6: Tiempos experimentales vs tiempos calculados – tipo 45.	92
Gráfico 7: Relación entre volumen /caudal y tiempo de cebado experimental – tipo 45.....	94
Gráfico 8: Comparación del tiempo de cebado experimental y calculado con el error relativo – tipo 90.....	148
Gráfico 9: Presión experimental y tiempo de cebado- tipo 90.	149
Gráfico 10: Relación entre altura y tiempos de elevado-tipo 90.	149
Gráfico 11: Relación entre altura y velocidad –tipo 90.	150
Gráfico 12: K promedio respecto al tiempo de cebado experimental – tipo 90.....	151
Gráfico 13: Tendencia de tiempos experimentales vs calculados para diferentes alturas – tipo 90.....	151
Gráfico 14: Relación entre volumen/caudal y tiempo de cebado experimental (Tipo 90).....	153

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Leyenda de las figuras 9 y 10.	20
Tabla 2: Gráfico de utilización de tubería.....	27
Tabla 3: Fricción de accesorios “K”.....	37
Tabla 4: Cálculo hidráulico en el tramo S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.	41
Tabla 5: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.	42
Tabla 6: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 01, con instalación tipo I.....	42
Tabla 7: Comparación de presión teórica y experimental para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I..	43
Tabla 8: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	45
Tabla 9: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	46
Tabla 10: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgada en el escenario 01, con instalación tipo I.....	46
Tabla 11: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental para un diámetro sifónico de 1 ½ pulgada en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	47
Tabla 12: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	48
Tabla 13: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	49
Tabla 14: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 01, con instalación tipo I.....	49
Tabla 15: Comparación de presión teórica y experimental para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	50
Tabla 16: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	51
Tabla 17: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.	52

Tabla 18: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 02, con instalación tipo I.....	52
Tabla 19: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	53
Tabla 20: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	54
Tabla 21: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 ½ pulgada en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	55
Tabla 22: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 ½ pulgada en el escenario 02, con instalación tipo I.....	55
Tabla 23: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 ½ pulgada en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	56
Tabla 24: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	57
Tabla 25: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	58
Tabla 26: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 02, con instalación tipo I.....	58
Tabla 27: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	59
Tabla 28: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	60
Tabla 29: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	61
Tabla 30: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 03, con instalación tipo I.....	61
Tabla 31: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	62
Tabla 32: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	63
Tabla 33: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	64

Tabla 34: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgada en el escenario 03, con instalación tipo I.....	64
Tabla 35: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	65
Tabla 36: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	66
Tabla 37: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	67
Tabla 38: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 03, con instalación tipo I.....	67
Tabla 39: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	68
Tabla 40: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	69
Tabla 41: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	70
Tabla 42: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 04, con instalación tipo I.....	70
Tabla 43: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	71
Tabla 44: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 ½ pulgada en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	72
Tabla 45: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	73
Tabla 46: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgada en el escenario 04, con instalación tipo I.....	73
Tabla 47: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	74
Tabla 48: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	75
Tabla 49: Determinación de energía cinética, comparación para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	76

Tabla 50: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 04, con instalación tipo I.....	76
Tabla 51: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	77
Tabla 52: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	78
Tabla 53: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.	79
Tabla 54: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 05, con instalación tipo I.....	79
Tabla 55: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	80
Tabla 56: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 ½ pulgada en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	81
Tabla 57: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	82
Tabla 58: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgada en el escenario 05, con instalación tipo I.....	82
Tabla 59: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	83
Tabla 60: Cálculo hidráulico S-L3, Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	84
Tabla 61: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	85
Tabla 62: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 05, con instalación tipo I.....	85
Tabla 63: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.....	86
Tabla 64: Comportamiento del tiempo de cebado calculado y experimental.....	87
Tabla 65: Análisis del error relativo en porcentaje de tipo 45.....	88
Tabla 66: Cuadro de área de cobertura de un sumidero sifónico – tipo 45.	97

Tabla 67: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	99
Tabla 68: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.	100
Tabla 69: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 01, con instalación tipo II.....	100
Tabla 70: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	101
Tabla 71: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.	102
Tabla 72: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	103
Tabla 73: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgada en el escenario 01, con instalación tipo II.	103
Tabla 74: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	104
Tabla 75: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.	105
Tabla 76: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	106
Tabla 77: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 01, con instalación tipo II.....	106
Tabla 78: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	107
Tabla 79: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	109
Tabla 80: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo II.	110
Tabla 81: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 02, con instalación tipo II.....	110
Tabla 82: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	111

Tabla 83: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	112
Tabla 84: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	113
Tabla 85: Valores obtenidos de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 02, con instalación tipo II.....	113
Tabla 86: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	114
Tabla 87: Desarrollo de cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	115
Tabla 88: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	116
Tabla 89: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 02, con instalación tipo II.....	116
Tabla 90: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 05, para el sistema tipo II.....	117
Tabla 91: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	119
Tabla 92: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	120
Tabla 93: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 03, con instalación tipo II.....	120
Tabla 94: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	121
Tabla 95: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	122
Tabla 96: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	123
Tabla 97: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgada en el escenario 03, con instalación tipo II.....	123
Tabla 98: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	124

Tabla 99: Desarrollo de cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	125
Tabla 100: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	126
Tabla 101: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 03, con instalación tipo II.....	126
Tabla 102: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 03, con instalación tipo II.....	127
Tabla 103: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	128
Tabla 104: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.	129
Tabla 105: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 04, con instalación tipo II.....	129
Tabla 106: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	130
Tabla 107: Desarrollo de cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	131
Tabla 108: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.	132
Tabla 109: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgada en el escenario 04, con instalación tipo II.....	132
Tabla 110: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	133
Tabla 111: Desarrollo de cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	135
Tabla 112: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	136
Tabla 113: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 04, con instalación tipo II.....	136
Tabla 114: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	137

Tabla 115: Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	138
Tabla 116: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.	139
Tabla 117: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 05, con instalación tipo II.....	139
Tabla 118: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	140
Tabla 119: Desarrollo de cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.	141
Tabla 120: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.	142
Tabla 121: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 ½ pulgada en el escenario 05, con instalación tipo II.....	142
Tabla 122: Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	143
Tabla 123: Desarrollo de cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II..	144
Tabla 124: Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	145
Tabla 125: Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 05, con instalación tipo II.....	145
Tabla 126: Comparación entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.....	146
Tabla 127: Tiempo de cebado calculado y experimental – tipo 90.....	147
Tabla 128: Error relativo en porcentaje en instalación de tipo de 90.....	148
Tabla 129: Datos calculados en relación con la intensidad de lluvia en sierra, costa y selva – tipo 90.....	156

Glosario

Bajante principal: Tubería vertical conectada al tramo final del sistema sifónico, cuya función principal es generar la energía potencial necesaria para el funcionamiento del sistema.

Bajante secundaria: Tubería vertical que conecta el sumidero sifónico con el colector horizontal, facilitando el tránsito inicial del flujo.

Bolsas de aire: Acumulaciones de aire atrapado en el interior de las tuberías, formadas por la coalescencia de múltiples burbujas pequeñas que ingresan al sistema.

Capacidad hidráulica: Máximo caudal que un sistema de drenaje sifónico puede conducir eficientemente sin pérdida de funcionalidad.

Colector principal: Tubería horizontal sin pendiente que recibe el flujo de agua proveniente de los sumideros sifónicos y lo conduce hacia la bajante principal.

Contenedor: Recipiente plástico de forma rectangular que recibe el agua impulsada por el sistema de bombeo, sobre el cual se instala el sumidero sifónico para simular el ingreso de agua.

Escenario: Configuración específica del sistema sifónico correspondiente a una determinada longitud de la bajante principal; en total se evaluaron 6 alturas distintas para su análisis.

Flujo a tubo lleno: Condición hidráulica en la cual la tubería opera completamente llena de agua, trabajando bajo presión interna.

Flujo anular: Tipo de flujo en el que el agua circula adherida a las paredes de la tubería formando un anillo, mientras que el aire se encuentra confinado en el centro del conducto.

Manovacúómetro: Instrumento utilizado para medir tanto presiones positivas como negativas dentro del sistema.

Sumidero convencional: Dispositivo que permite la entrada de agua y aire al sistema de drenaje, característico de los sistemas tradicionales de evacuación.

Sumidero sifónico: Dispositivo diseñado para permitir únicamente el ingreso de agua al sistema, bloqueando el paso de aire, y generando condiciones de flujo a presión propias del sistema sifónico

Símbolos y abreviaturas

- D : Diámetro interior de la tubería (m)
- f : Factor de fricción de Darcy-Weisbach (adimensional)
- G : Aceleración de gravedad (9.81 m/s²)
- h_f : Pérdida de carga por fricción a lo largo de una tubería (m)
- h_k : Pérdida de carga localizada ocasionada por accesorios como codos , válvula y uniones (m)
- k : Rugosidad absoluta interna de la tubería (m), asociada al material del conducto.
- K : Factor de fricción de accesorios (m)
- L : Longitud total del tramo de tubería analizado (m)
- P : Presión del fluido expresado como altura de columna de agua (m)
- Q_i : Caudal de ingreso proveniente de las bajantes secundarias (l/s)
- R : Número de Reynolds, parámetro adimensional que caracteriza el régimen de flujo(laminar o turbulento).
- S : Sumidero Sifónico
- T_f : Tiempo de Cebado (s), intervalo requerido para que el sistema transicione al régimen de flujo a tubo lleno.
- VP : Volumen conjunto del tramo colector y la bajante principal (m³)
- V : Velocidad del flujo de agua en la tubería (m/s)
- Z : Cota o altura geométrica respecto a un punto de referencia. (m)
- γ : Peso Específico del agua(N/m³)
- Q_s : Caudal en el momento en que inicia el régimen de flujo único (flujo cebado).
- Q_p : Caudal máxima alcanzado durante el régimen con presencia significativamente de aire antes del cebado completo del sistema.

Introducción

El uso de sistemas de drenaje sifónico de techo es una práctica común en países desarrollados, que se viene implementando desde hace más de 50 años, especialmente en edificios que poseen áreas de techo grandes, ya que brindan un alto grado de libertad y flexibilidad a los arquitectos y contratistas. Estos sistemas de drenaje no requieren pendiente en las tuberías y necesitan menos tuberías y accesorios que un sistema de drenaje por gravedad convencional (Ondoren & Materna, 2006)

Así mismo las características operativas de los sistemas de drenaje sifónico requieren de asesoría técnica especializada para una correcta implementación y eficiencia del sistema sifónico, en específico un aspecto principal de conocer son las características hidráulicas del sistema, tal como lo es el comportamiento del cebado de dichos sistemas (Scott Arthur, 2007). Es así que, a través de las investigaciones desarrolladas principalmente en la Unión Europea, se han establecido guías y normativas técnicas de los sistemas de drenaje sifónico.

En nuestro país se viene promoviendo el uso de este sistema de drenaje alternativo, sin embargo, en la actualidad carecemos de normativa técnica y recién se viene desarrollando investigaciones de esta tecnología, tal como la investigación denominada “Evaluación del comportamiento hidráulico y la longitud de la bajante principal en un sistema de drenaje sifónico con sumideros independientes” (Marquina Asto, 2022).

Ante esta necesidad, la investigación desarrollada tiene como objetivo estudiar el comportamiento del cebado y la bajante principal de un sistema de drenaje sifónico con un sumidero, para dos sistemas de estudio propuesto, con el objetivo de obtener la fórmula del tiempo de cebado considerando los parámetros de diseño óptimo acordes al contexto nacional.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

Los sistemas de drenaje sifónico se emplean en cubiertas de gran extensión expuestas a precipitaciones significativas, permitiendo la conducción de altos volúmenes de agua pluvial a tuberías completamente llenas mediante el aprovechamiento de la presión atmosférica. Este proceso acelera el vaciado de la cubierta en tiempos reducidos y elimina la necesidad de pendiente en las tuberías horizontales, lo que disminuye el número de bajantes requeridas y contribuye a una reducción de los costos de instalación y construcción.

1.2 Descripción del problema de investigación

1.2.1 Identificación del problema

En nuestro país actualmente la normativa técnica solo precisa el drenaje convencional para las edificaciones, recomendándole así su implementación a pesar de la existencia de sistemas alternativos. Esto hace que las edificaciones de grandes áreas de techo presenten diseños poco eficientes de su sistema de drenaje, pues si bien son funcionales a la vez se pueden sobredimensionar y generar mayores costos, ya que se emplean diámetros de tuberías más grandes de las que se deberían utilizar ya la gran cantidad de bajantes de drenaje pluvial que se requieren instalar debido a la pendiente mínima e ingreso de aire, para su funcionamiento (Marquina Asto, 2022).

La alternativa tecnológica para optimizar esta deficiencia es el sistema de drenaje sifónico, estos sistemas se caracterizan por trabajar a presión y transportar grandes volúmenes de agua en poco tiempo usando el efecto sifón sin requerir pendiente, debido a que evita que el aire ingrese, gracias al empleo de los sumideros sifónicos, aprovechando así todo espacio disponible por las tuberías. Este sistema requiere para su funcionamiento

el correcto cebado, para ello se tiene en cuenta la verificación del caudal que ingresa a la canaleta, cebado de bajante secundaria, formación y movimiento de los saltos hidráulicos, despresurización del sistema y sistema completamente cebado del sistema.

1.2.2 Formulación del problema

Ante la carencia de normativa técnica y estudios de investigación adaptados a la realidad de nuestro país de la implementación de tecnología de drenaje sifónico (Marquina Asto, 2022) , se plantea la presente investigación con el objetivo de evaluar uno de los aspectos críticos de la funcionalidad de un sistema de drenaje sifónico, el cual es el cebado, por ello se abordará el estudio del comportamiento de cebado del sistema sifónico con un sumidero sifónico, el estudio del comportamiento se plantea para 2 tipos de sistemas; el primer sistema corresponde a un sistema compuesto por un colector horizontal que empalma con dos codos de 45° a la bajante principal y el segundo sistema, el colector horizontal empalma con un codo de 90° a una bajante principal, en ambos sistemas propuestos se variará en altura la bajante principal para evaluar su influencia en el sistema donde se contrastará los datos experimentales, para obtener las velocidades y parámetros que nos permitan identificar el escenario que permite una mayor eficiencia del sistema sifónico.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Estudio del comportamiento del cebado a diferentes alturas de la bajante principal.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar el cebado en el sistema de drenaje sifónico empalmado con dos codos de 45° a la bajante principal a diferentes longitudes.

- Evaluar el cebado en el sistema de drenaje sifónico empalmado con un codo de 90° empalmado a la bajante principal a diferentes longitudes.

- Determinar las velocidades experimentales a las cuales el sistema instalado aún trabaja como sistema sifónico en su totalidad en ambos escenarios.

- Evaluar la relación entre la altura de la bajante de drenaje principal con las presiones tomadas de los vacuómetros experimentales y las presiones calculadas. Diferencia entre los dos tipos de sistema.

1.4 Antecedentes investigativos

El sistema de drenaje sifónico es una alternativa al sistema convencional de drenaje, que se está implementando a nivel internacional desde hace aproximadamente 50 años por sus ventajas de diseño (Campbell, 2013). A la actualidad, desde inicios de este siglo se vienen desarrollando investigaciones, para una mejor comprensión e implementación del sistema con mayor eficiencia. Para el estudio de la eficiencia del drenaje pluvial sifónico se han revisado las siguientes investigaciones:

Scott Arthur (2007), desarrolló la investigación “El diseño centrado en la imprimación del drenaje sifónico del techo”, el estudio presenta las características operativas de los sistemas de drenaje sifónico, centrándose en el estudio de cebado, a través del uso de datos de campo derivados de un conjunto único de pruebas de laboratorio, con el fin de dar modelos e información de diseño. En la investigación instalan un equipo de drenaje sifónico de salida de techo único, del cual miden los tiempos de llenado y tiempos de cebado, y evalúan así la capacidad de llenado del sistema al variar las profundidades del flujo de canalón y rugosidad de la tubería empleada, y en los resultados estiman tiempos de llenado de 27,6 s y 37,8 s, indicando que los tiempos de cebado pueden exceder los 2 minutos ya lo más 3 minutos (Scott Arthur, 2007),

concluyendo así que los estudios de laboratorio si bien dieron una mejor comprensión de cebado indican que aún son limitados para establecer un método analítico disponible para evaluar el rendimiento de un sistema sifónico.

Ondoren A. y Materna R. (2006), realizaron el estudio “Características de flujo multifásico de un sistema de drenaje de techo sifónico en condiciones de carga parcial”, mediante el diseño de una serie de experimentos que proporcionaron una base de datos que caracterizan los sistemas de drenaje sifónico de flujo multifásico. El sistema investigado estaba compuesto por una mezcla de aire y agua, sus tuberías estaban conformadas por 3 diámetros diferentes (56 mm, 63 mm, 75 mm) y 2 longitudes verticales (5 y 10 metros) diferentes, evaluándose el efecto del contenido del aire en los sistemas de tuberías sobre las velocidades y presiones efectivas de flujo (Ondoren & Materna, 2006). Concluyeron que las características de flujo en condiciones carga parcial y cebadas son cualitativamente similares independientemente de la dimensión de la tubería Siendo uno de los resultados más importantes de este estudio es la observación de un régimen de flujo donde la velocidad efectiva del flujo en la tubería se mantiene constante para una gama relativamente amplia de caudales. También detallan que el inicio de esta estructura de flujo está bien relacionado con la relación de caudales correspondientes a los máximos de velocidad y la condición de cebado. Se encontró que esta relación es una constante alrededor de $QS/QP \sim 0,7$ para los casos de este estudio.

Campbell David (2013), realizó el estudio “Investigación de un sistema de modulación de flujo para sistemas de drenaje de techo sifónico”, describe el desarrollo de un sistema de drenaje sifónico de techo que incluye una pequeña tapa móvil en el techo de salida, del cual evalúan la mejora del sistema actual de drenaje sifónico. En los resultados detallan los rendimientos de cebado y descebado al aplicar diferentes tipos de diámetro con la misma altura (Campbell, 2013). Concluyen de las pruebas a escala de laboratorio que el sistema con tapa ofrece beneficios, tales como evitar el ruido asociado

con la acción sifónica del transporte de flujo y evita los problemas del tamaño asociado al sistema de drenaje actuales.

Beattie Richard (2013), desarrolló la tesis doctoral “El efecto del tiempo y el clima en el funcionamiento del sistema de drenaje de aguas pluviales”, que mediante el estudio experimental establece coeficientes de pérdida de salida sifónica apropiados a partir de evaluar los cambios de presión en la tubería de descarga y profundidades del canal, generadas por las obstrucciones parciales en la salida debido a barreras de cobertura de detritos. Los coeficientes fueron derivados del análisis de datos de laboratorio y estaciones meteorológicas, utilizando una versión de ROOFNET (Beattie Richard, 2013), modelo de simulación para las características de la intensidad de lluvia característica.

Marquina Renzo (2022), desarrolló la tesis de pregrado “Evaluación del comportamiento hidráulico y la longitud de la bajante principal en un sistema de drenaje sifónico con sumideros independientes”, la cual es una investigación pionera en el desarrollo de la tecnología de sistemas de drenaje sifónico, adaptada a la realidad de nuestro país (Marquina Asto, 2022). Estudió el comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje sifónico, con 03 sumideros independientes a diferentes longitudes de la bajante principal, a través de del desarrollo experimental de 24 escenarios, con alturas específicas de bajante principal, cuyo valor oscilaba entre 0.35 m y 2.66 m y para cada escenario se realizó el cálculo hidráulico para corroborar el comportamiento sifónico. En los resultados detallan que al reducirse la longitud de la bajante la capacidad hidráulica total disminuye, en el rango de 13,89 l/s hasta los 6.89 l/s. Concluyen que sólo en los primeros 22 escenarios se tuvo un comportamiento de sistema sifónico, mientras que en el escenario 023 (H=0.45) indican que se observó un comportamiento de sistema sifónico incompleto y en el escenario 024H=0.35 m) el sistema dejó de trabajar como un sistema sifónico a partir de la parte final del colector principal. Así mismo, concluyen que la altura de la bajante principal afecta directamente a la capacidad hidráulica del sistema sifónico y al tiempo de cebado.

Capítulo II. Marco teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

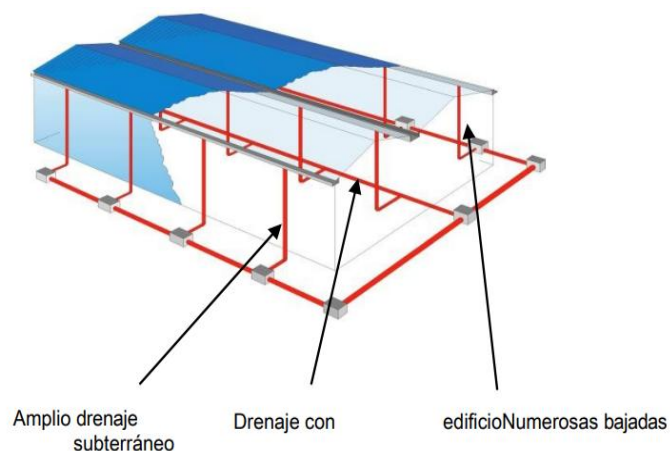
2.1.1 Drenaje pluvial en edificaciones

Existen 2 tipos de sistemas de drenaje pluvial para techos, el sistema convencional (por gravedad) y el sistema sifónico. Ambos tienen un funcionamiento similar, ya que el agua de lluvia cae sobre el techo y se recoge en un canalón donde se extrae de su salida se transporta a una red de recogida a través de una pared de tuberías, sin embargo, se diferencian significativamente en su comportamiento hidráulico (Sidek Yusof, 2007), ya que en el drenaje convencional solo se trabaja hasta un 70-80% de la capacidad del tubo, en el sistema sifónico se trabaja a tubo lleno al 100% (Italsan, 2016)

Otra diferencia significativa es que el sistema de drenaje convencional requiere de varias columnas bajantes, mientras que en el drenaje sifónico basta con una columna de descarga vertical. Las características mencionadas se muestran a continuación en los esquemas de los sistemas de drenaje.

Figura 1

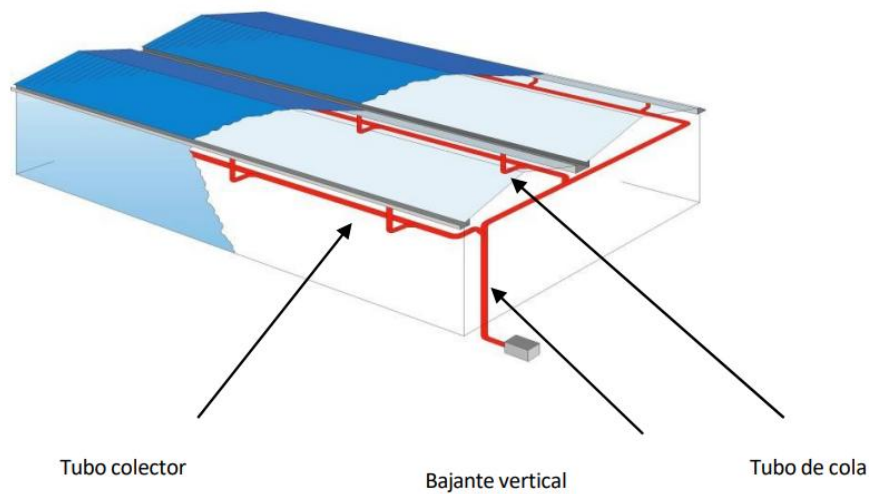
Sistema de drenaje convencional.



Nota: fuente, investigación experimental sobre la transición del flujo anular al flujo total en tuberías verticales (Yusof, 2007).

Figura 2

Sistema de drenaje sifónico.



Nota: fuente, Investigación experimental sobre la transición del flujo anular al flujo total en tuberías verticales (Yusof,2007).

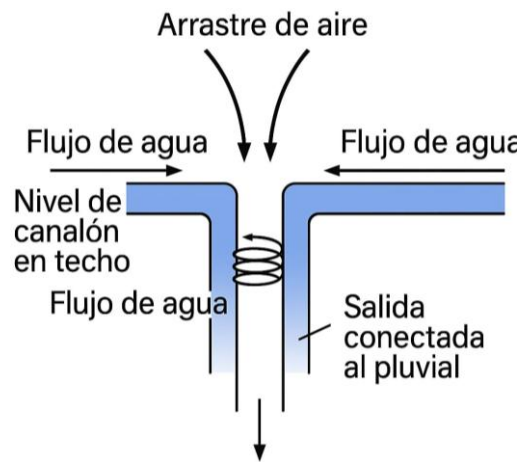
2.1.2 Sistema de drenaje convencional

Este sistema aprovecha la fuerza de la gravedad para transportar las precipitaciones a través de sumideros, colectores y bajantes. Se caracteriza por uso de sumideros convencionales, los cuales actúan únicamente como receptores de agua instalados sobre las cubiertas de los edificios. Estos sumideros se conectan a columnas de descarga que descienden desde la cubierta hasta los colectores, los cuales presentan una inclinación de al menos el 1% y dimensionados con un factor de llenado máximo del 70% (Italsan, 2016).

El sumidero convencional consiste en un orificio cubierto por una rejilla conectado directamente a una tubería, y expuesto a la zona de drenaje pluvial. Debido a que no cuenta con ningún tipo de accesorio (como una placa especial o deflector), que limite la entrada de aire al sistema, Se pierde la parte de la capacidad hidráulica real en la tubería. Además, el flujo de entrada genera un remolino que arrastra aire hacia el interior de las tuberías, afectando su rendimiento hidráulico. Ver figura 3.

Figura 3

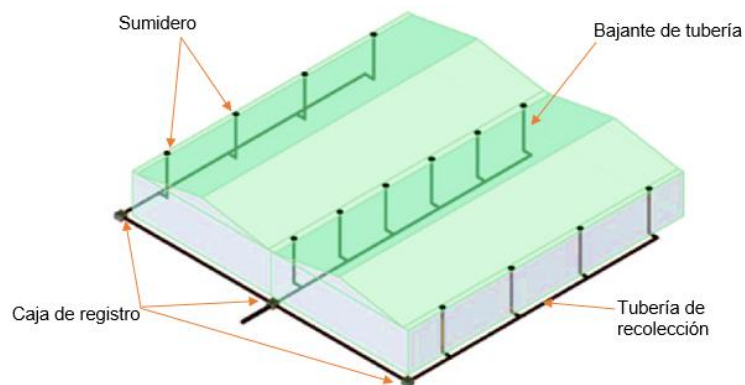
Sumidero convencional.



En este sistema los flujos recolectados por los sumideros se unen mediante una red de recolección en los niveles más bajos de la edificación siendo en muchos casos el nivel de terreno tal y como se aprecia en la figura 4.

Figura 4

Red de recolección y flujo del sistema drenaje convencional.



Limitaciones del sistema de drenaje convencional:

Según las investigaciones revisadas, las principales limitaciones son los siguientes puntos.

Pendiente: La pendiente limita la instalación de tuberías de grandes longitudes debido a la variación de la cota de la tubería. Por ello, se requiere diseñar varias bajantes para cada cierta longitud de tubería.

Dimensiones de tuberías: En un sistema por gravedad no se aprovecha en su totalidad a las dimensiones de la tubería, por tanto, en su diseño siempre se instalarán tuberías de dimensiones más grandes de las requeridas.

Costos: Esto debido a que en el diseño se emplean tuberías de dimensiones más grandes de las necesarias (Marquina Asto, 2022).

2.1.3 Efecto sifónico

El efecto sifónico se define por la energía generada por la gravedad para arrastrar el líquido por una tubería, generando así que trabaje a presión y con ello se logre ocupar la totalidad de la tubería con agua de lluvia sin dejar paso a la entrada de aire.

2.2 Sistema de drenaje sifónico

Los sistemas de drenaje sifónico son diseñados para trabajar el sistema en su máxima capacidad, transportando solo agua y no aire idealmente. Esto conlleva a un dimensionamiento de tuberías de menores diámetros en todo el sistema.

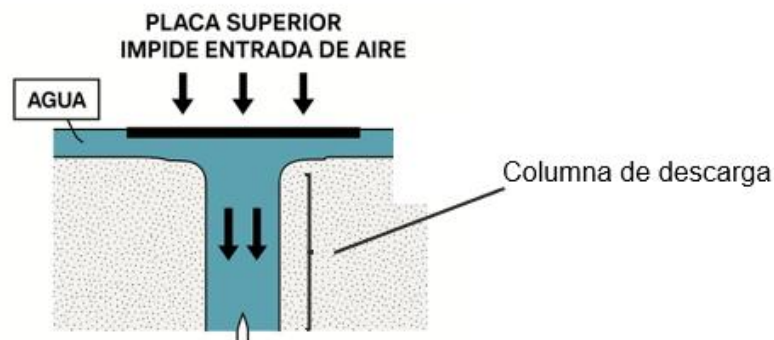
Este sistema también emplea la fuerza de gravedad, pero funciona diferente al sistema convencional, ya que se caracteriza por el empleo de sumidero especiales con placa anti-vórtice que evita el ingreso de aire en el sistema, impidiendo así la formación de remolinos. Los sumideros sifónicos están conectados a poca distancia del colector horizontal situado bajo la cubierta del edificio (Ver figura 5). El tramo de conexión es de tubería de diámetro reducido. El colector generalmente está instalado en el punto más alto

y recorre, sin inclinación, la longitud necesaria para alcanzar el punto de conexión a la columna de descarga.

La columna de descarga finaliza en una caja de inspección, terminando ahí el proceso sifónico. De ahí el sistema puede desembocar en un tanque de acumulación de agua, o en la red de alcantarillado pluvial.

Figura 5

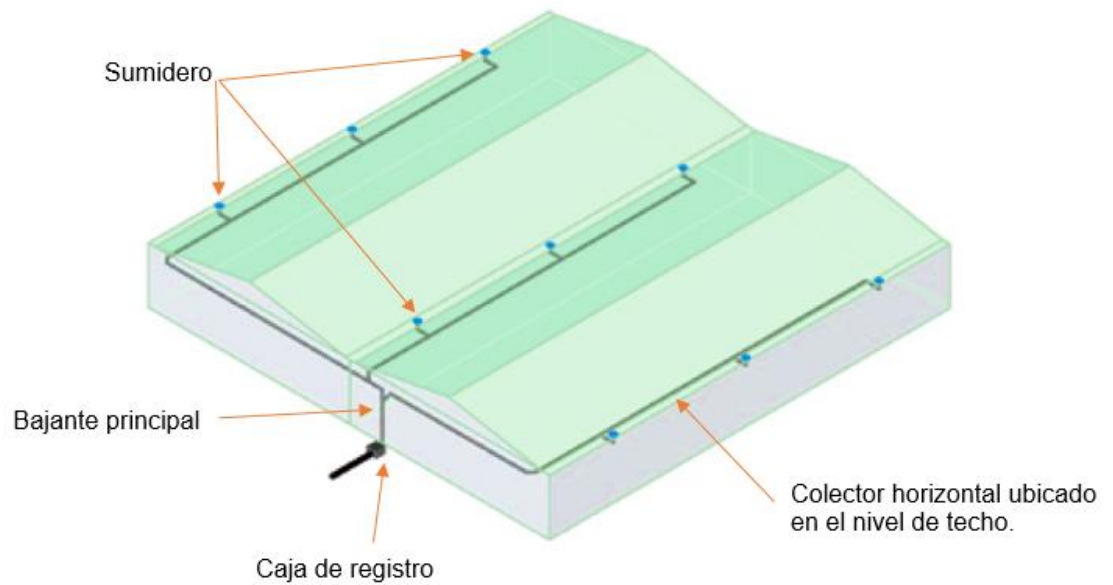
Sumidero sifónico.



La ausencia de aire en el sistema permite trabajar con un factor de llenado del 100%, obteniendo caudales muy elevados con velocidades 10 veces superiores a las de un sistema de drenaje convencional. en una sola bajante dependiendo de las condiciones del proyecto, en la figura 6 se evidencia lo descrito.

Figura 6

Red de recolección y flujo del sistema drenaje sifónico.



Aplicaciones

- Amplias superficies techadas, como aquellas que se encuentran en fábricas, bodegas, aeropuertos, centros de convención, estadios, centros comerciales etc.
- Opción económicamente viable en proyectos de captura y aprovechamiento de agua pluvial.
- La versatilidad del sistema permite que sea instalado con tuberías de diferentes materiales, como PVC, acero, hierro Dúctil, etc.

Ventajas:

- Ahorro significativo en cuanto a tiempo y dinero, ya que se requieren diámetros menores.
- Reducción de mano de obra e instalaciones bajo losa, instalación sin pendientes y menos bajantes verticales.

- Flexibilidad en la ubicación de la descarga.
- Mayores velocidades de flujo.

2.2.1 Comportamiento hidráulico y ecuaciones diseño hidráulico

El diseño hidráulico sifónico se va a determinar parámetros como la velocidad final y presiones, para un mayor entendimiento del sistema de fluidos, asimismo dependerá de la información de líquido que se va a usar, por ello se va a determinar con la fórmula de Bernoulli, que es ley de conservación de energía en un flujo en una tubería.

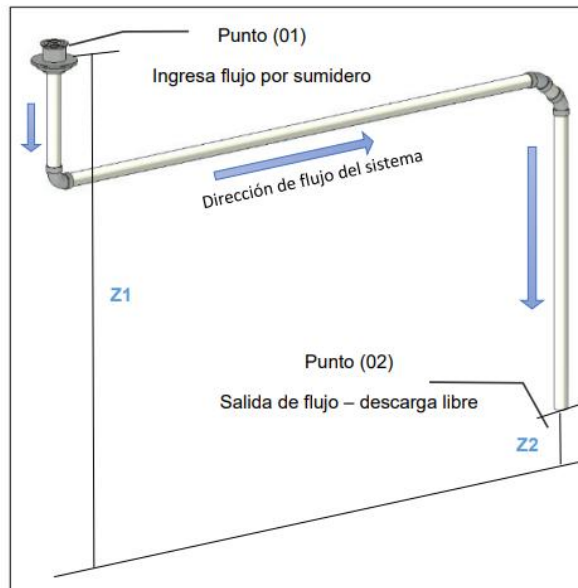
$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

- $\frac{P}{\gamma}$ = Energía de presión.
- $\frac{V^2}{2g}$ = Energía cinética.
- Z = Energía potencial

Esta ecuación representa la conservación de energía entre dos puntos ubicados en el sistema en base a una línea de referencia como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 7

Esquema de drenaje sifónico.



- Observando la figura 7 se considera un equilibrio entre dos puntos donde actúa las fuerzas por fricción y fuerzas localizadas por accesorios por lo cual vamos a considerar la fórmula:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - h_f - h_k = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

Donde:

- h_f : pérdidas por energía
- h_k : pérdidas localizadas en accesorios

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

Donde:

- f : factor de fricción de Darcy
- L : longitud de tubería (m)
- D : Diámetro de tubería(m)

- V: Velocidad del fluido(m/s)
 - g: gravedad (m/s²)
 - hf: pérdida de energía por fricción
- El factor de fricción de Darcy se calculará usando la fórmula de Colebrook & White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Donde:

- f: Factor de fricción de Darcy
- K: Rugosidad absoluta (m)
- D: Diámetro de tubería (m)
- Re: Reynolds

2.2.2 Cebado

El cebado es una variable determinante, para el funcionamiento hidráulico del sistema de drenaje sifónico, Asimismo va a depender de la eliminación de bolsa de aire del sistema, por ende, depende de los parámetros como volumen captado, caudal, velocidad, diámetro del sumidero sifónico y la turbulencia del sistema. También las siguientes consideraciones para un eficiente cebado.

2.2.2.1 Ingreso de caudal Inicial al canal.

Durante el inicio de cebado la presión dentro del sistema tiene el mismo valor que la presión atmosférica ambiental. En esta fase, la bajante secundaria actúa como un drenaje convencional, generando un flujo en forma de anillo dentro de la tubería bajante (ver figura N°03). Simultáneamente, el flujo de la tubería horizontal comienza en régimen

subcrítico. Sin embargo, a medida que el caudal incrementa, el régimen de flujo en las tuberías horizontales evoluciona hacia un comportamiento supercrítico.

2.2.2.2 Cebado a la salida de la bajante secundaria.

En esta bajante secundaria se debe tener las siguientes consideraciones como:

- El diámetro del bajante secundario debe mantenerse constante a lo largo de su longitud.
- La altura debe ser como mínimo 0.5 metros.
- El colector horizontal genera una resistencia hidráulica el cual puede aumentar el tiempo de cebado y provocar variaciones en el caudal de descarga del sistema de drenaje sifónico.

2.2.2.3 Formación y salto hidráulico.

El incremento progresivo del flujo acumulado en el canal genera un salto hidráulico que se desplaza hacia la tubería aguas abajo. Este fenómeno comienza con un flujo subcrítico que contribuye a la eliminación de la bolsa de aire presente en la tubería horizontal aguas arriba. A medida que el sistema se estabiliza, el flujo evoluciona hacia un régimen supercrítico, alcanzando un caudal equivalente al diámetro nominal del sistema.

2.2.2.4 Desplazamiento del flujo total.

El avance del flujo en el tramo horizontal aguas abajo permite que el caudal alcance una velocidad y volumen suficientes para generar un flujo continuo equivalente al diámetro de la bajante principal, posibilitando así el desplazamiento total del caudal hacia dicha bajante.

2.2.2.5 Despresurización del sistema.

El incremento del caudal en la captación del sistema provoca una despresurización en el tramo aguas arriba de la tubería horizontal, en comparación con el tramo aguas abajo. Esta diferencia de presiones genera una condición de flujo a tubo lleno, característica del funcionamiento del drenaje sifónico.

2.2.2.6 Represurización parcial del flujo.

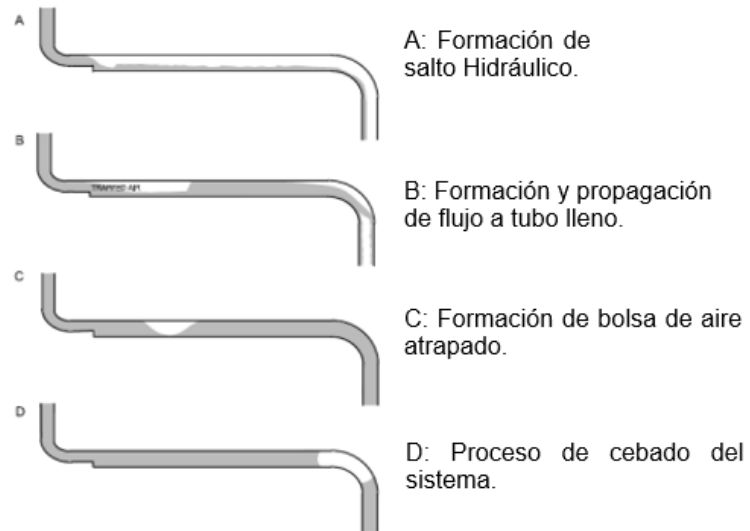
El aumento progresivo del caudal de ingreso al canal genera acumulación de bolsas de aire aguas abajo de la tubería horizontal. La represurización parcial del sistema ocurre cuando estas bolsas de aire son arrastradas hacia la bajante principal, iniciando así la transición hacia el régimen sifónico.

2.2.2.7 Cebado del sistema.

El cebado se produce cuando el aire contenido en la bajante principal es completamente evacuado, permitiendo que el flujo se establezca a tubo lleno en todo el sistema. En esta etapa, la presión interna se estabiliza, lo que indica que el sistema ha alcanzado un régimen sifónico permanente.

Figura 8

Procedimiento de cebado del drenaje sifónico.



Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Metodología de investigación (in situ)-i

La investigación se ejecutó en el Centro de investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos, de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru S/N, puerta 7, Rimac, Lima.

Con el objetivo de alcanzar los fines de investigación, se proyectaron dos tipos de instalaciones. El primer sistema corresponde a un conjunto compuesto por un colector horizontal que conecta con dos codos de 45° a la bajante principal. El segundo sistema, el colector horizontal, empalma con un codo de 90° a la bajante principal. Asimismo, se consideró tres tipos de sumidero sifónico en ambos sistemas, con diámetros de 1 pulgada, 1 ½ pulgada y 2 pulgadas. Se realizaron 10 simulaciones con un diámetro de 1 pulgada; 6 simulaciones en el diámetro de 1 ½ pulgada y 6 simulaciones en el diámetro de 2 pulgadas. Las simulaciones fueron analizadas en los escenarios donde se cortaba la bajante principal cada altura de 0.50m, con la descarga al aire libre, para evaluar el tiempo de cebado. También, se instaló un vacuómetro en el colector horizontal, estratégicamente ubicado, para monitorear las presiones negativas presentes en el sistema.

- **DESARROLLO Y CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA SIFÓNICO**

Figura 9

Diagrama del primer tipo de instalación con dos codos 45° empalmados a la bajante principal.

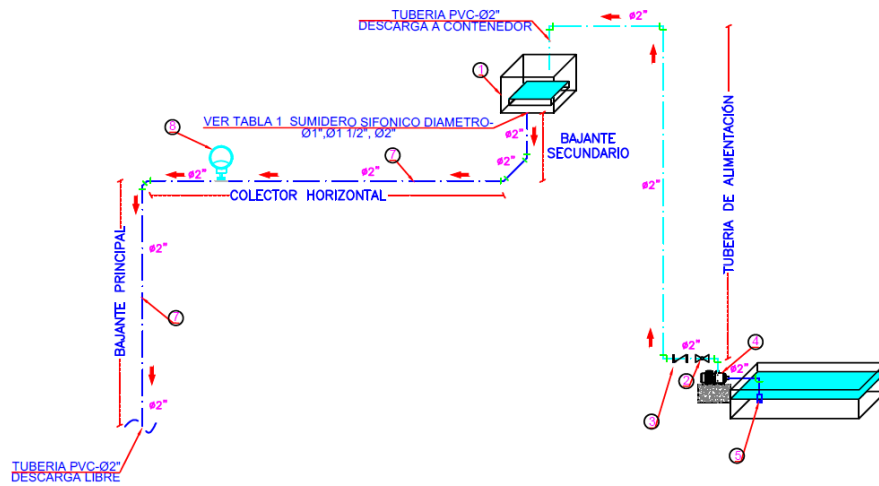
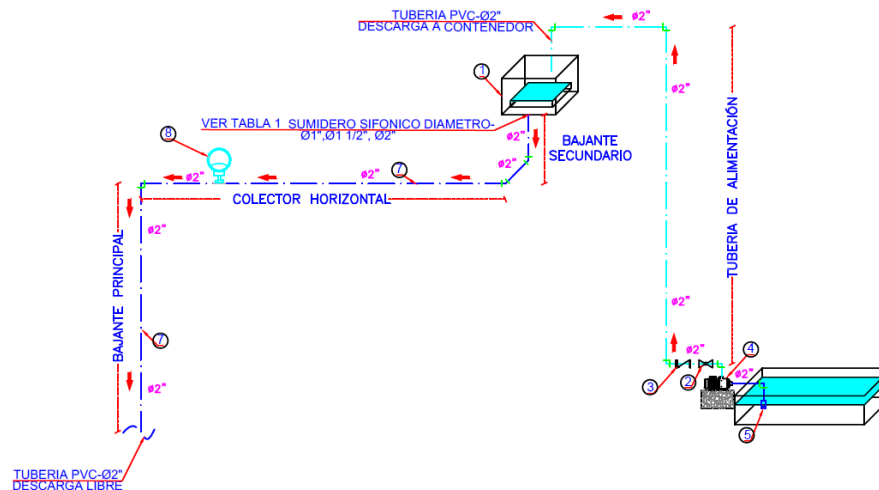


Figura 10

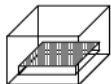


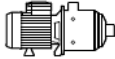




Diagrama del segundo tipo de instalación con un codo de 90 empalmado a la bajante principal.



De las figuras 9 y 10 para su mejor lectura se sugiere lectura de la tabla 1

Tabla 1

Leyenda de las figuras 9 y 10.

DRENAJE SIFONICO		
ÍTEM	SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
01		CONTENEDOR
02		VÁLVULA DE BOLA Ø2"
03		VÁLVULA CHECK HORIZONTAL Ø2"
04		BOMBA CENTRIFUGA DE 2 Hp
05		VÁLVULA DE PIE
06		LINEA DE IMPULION Ø2"
07		LINEA DE DRENAJE SIFONICO DE Ø2"
08		VACUOMETRO

3.1.1 Sistema de soporte

El sistema de soporte está constituido por dos cuerpos de andamios, cada uno con dimensiones de 1.30m y altura de 2 metros. Además, se ha instalado un contenedor para la captación de agua, junto con una tubería de PVC de 50 mm y una tubería Never Flex Steel de 2" (50mm) no tóxica. La tubería transporta el agua impulsada desde la bomba centrífuga hasta el contenedor.

3.1.2 Depósito de agua

El depósito que se consideró fue una piscina rectangular estructural tiene las siguientes características:

- Marca: Bestway.
- Material: PVC.
- Color: Azul.

- Peso: 13.36 kg.
- Capacidad: 2,300 Litros.
- Medidas producto inflado: 3.00 m x 2.01m x 0.66m

Figura 11

Piscina Bestway Steel Pro forma rectangular.



3.1.3 Succión de agua

La succión de la bomba se ha considerado criterios para poder extraer agua de la fuente para ello se consideró los siguientes criterios.

- Se instaló una válvula de pie de 2 pulgadas.
- La válvula de pie se encuentra a 0.10 m sobre el nivel del piso de la piscina.
- El agua tiene que estar llena por lo mínimo 0.10m encima de la válvula de pies con el fin de evitar la succión de aire.

Figura 12

Vista de succión de agua.



3.1.4 Bomba centrífuga

La bomba instalada tiene las siguientes características

- Marca: Delcrosa
- Caudal máximo: 450 L/min
- Altura máxima: 22 m
- Succión máxima: 8m
- Voltaje: 220V
- Amperaje: 11A
- Potencia: 2Hp

Figura 13

Presentación de la bomba centrífuga.

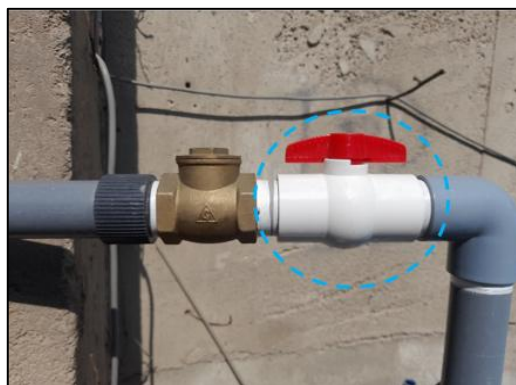


3.1.5 Válvula de control

Se ha instalado una válvula de bola de diámetro de 2 pulgadas, fabricada en material de plástico blanco, la cual tiene la función de controlar la interrupción y facilita la regulación del caudal.

Figura 14

Instalación de válvula de bola de diámetro de 2 pulgadas.



3.1.6 Descarga a contenedor

El material instalado es de tubería de PVC para agua, con un diámetro de Ø2". Esta tubería transporta el caudal desde la bomba centrífuga hasta el contenedor. El tramo final se instala de manera perpendicular al vórtice instalado en el contenedor.

Figura 15

Instalación de contenedor.

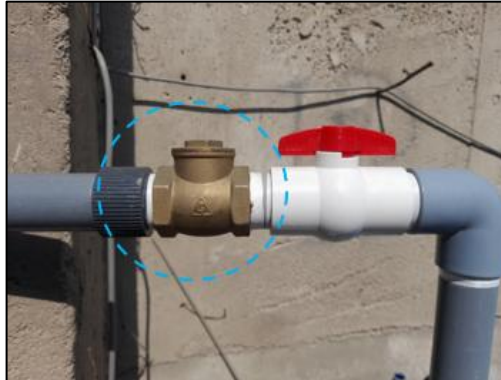


3.1.7 Válvula Check

Se ha instalado una válvula check de bronce cromado con un diámetro de Ø2 pulgadas, con el propósito de controlar el sentido del flujo, la válvula se cierra automáticamente en caso de detectar un cambio en la dirección del flujo.

Figura 16

Visualización de válvula Check de diámetro de 2 pulgadas.



3.1.8 Soporte estructural

El soporte estructural fue ensamblado utilizando dos andamios con dimensiones de 2.10 metros de longitud, 1.30 metros de ancho y una altura de 2 metros. Además, se acondicionaron tres tabloncillos de 2.80 metros de largo, 0.20 metros de ancho y 0.05 metros de espesor, como se muestra en la imagen siguiente.

Figura 17

Instalación de soporte con dos cuerpos de andamios.



3.1.9 Contenedor con sumidero sifónico

Los sumideros utilizados son de diámetro de 1 pulgada, 1 1/2 pulgadas y 2 pulgadas que son de material de jebe ubicado en el inicio de la bajante secundaria. Además, se instaló una placa tipo vortex con el propósito de inducir un comportamiento propio de sumidero sifónico. El contenedor empleado es una caja de plástico de capacidad de 68 L con Medidas: Largo, 59.7cm. Ancho, 46.4cm. Alto, 34.7cm.

Figura 18

Sumidero sifónico instalado en el contenedor.



3.1.10 Detalles de tuberías a usar

Las tubería y accesorios usada en el experimento de los dos tipos de instalación son el siguiente:

Tabla 2

Gráfico de utilización de tubería.

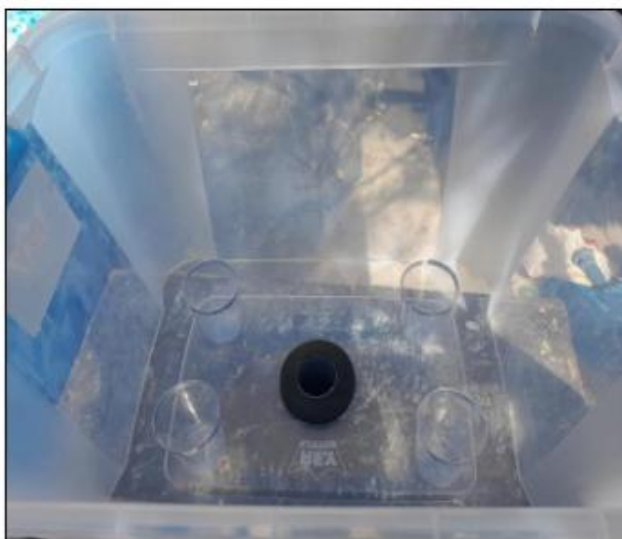
Descripción	Material	Diámetro externo	Espesor	Diámetro Interno
Tubería de Ø2"	PVC	60 mm	2.9 mm	54.2 mm

3.1.11 Sumidero sifónico bajante secundario

El sumidero sifónico se alimenta mediante una tubería de impulsión de 2 pulgadas de diámetro. A continuación, el flujo desciende una cierta altura antes de empalmar con el colector horizontal mediante dos codos de 45 grados.

Figura 19

Bajante secundario y sumidero sifónico.



3.1.12 Colector principal

El colector principal recibe el flujo desde el contenedor con sumidero sifónico, que está conectado al colector secundario. La tubería ha sido diseñada con pendiente nula para asegurar un funcionamiento óptimo del sistema. Durante el recorrido, el flujo comienza de manera suscrita, eliminando progresivamente el aire atrapado en el sistema. A medida que el sistema vacía el aire el flujo se vuelve supercrítico, permitiendo que el sistema se cebe y funcione de forma eficiente.

Figura 20

Recorrido horizontal del colector principal.



3.1.13 Manovacuómetro

El manovacuómetro instalado tiene las siguientes características.

- Marca: PRESSY
- Factor de error: Cl. 1.6
- Presión mínima: - 1 bar
- Presión Máxima: + 2 bar
- Entrada: Ø 1/4"

Figura 21

Mano vacuómetro.



3.1.14 Bajante principal

Para la bajante principal se ha seleccionado una tubería Never Flex Steel de 2 pulgadas (50mm) de diámetro, fabricada con materiales no tóxicos. La altura de instalación es de 3 metros, aplicable ambos tipos de configuración. Este sistema está diseñado para garantizar la durabilidad y el óptimo desempeño del drenaje sifónico, como se puede observar en las imágenes adjuntas.

Figura 22

Bajante principal de dos tipos de instalación.



3.1.15 Preparación de condiciones necesarias para el experimento

3.1.15.1 Características de la alimentación eléctrica.

- Interruptor: Monofásico
- Modelo: ALF 6K/2
- Código o Identificación: 600013 (enmarcado en un recuadro)

- Voltaje de Operación: 220/440V
- Capacidad de Corte: 6kA/3kA
- Norma de Fabricación: IEC 60898

Figura 23

Interruptor termomagnético.



3.2. Metodología de investigación (gabinete)- ii

Se llevó a cabo un estudio sobre el comportamiento del tiempo de cebado en dos tipos de instalaciones: tipo 90 y tipo 45. El objetivo principal fue comprender el funcionamiento del sistema de cebado de drenaje sifónico en distintos escenarios, variando las alturas en la bajante principal.

Para el análisis, se emplearon las ecuaciones de Bernoulli y de Swamee-Jain, con el propósito de determinar las presiones teóricas y velocidades del flujo. Asimismo, se debe entender los puntos siguientes.

En este contexto, es fundamental considerar los siguientes aspectos:

- a) Confluencia de caudales provenientes del sumidero
- b) Equilibrio de energía general del sistema sifónico

A continuación, se detallan estos puntos con el objetivo de desarrollar un cálculo hidráulico que permita analizar y comprender el comportamiento del tiempo de cebado.

3.2.1 Confluencia de caudal proveniente del sumidero sifónico de 1, 1 ½ y 2 pulgadas

En los dos tipos de instalación el caudal que fluye desde el contenedor del sumidero “S” hasta la bajada principal en el punto L3, es fundamental para determinar la presión teórica y experimental y velocidad del sistema.

Figura 24

Diagrama del segundo tipo 90 de instalación con un codo de 90 empalmado a la bajante principal.

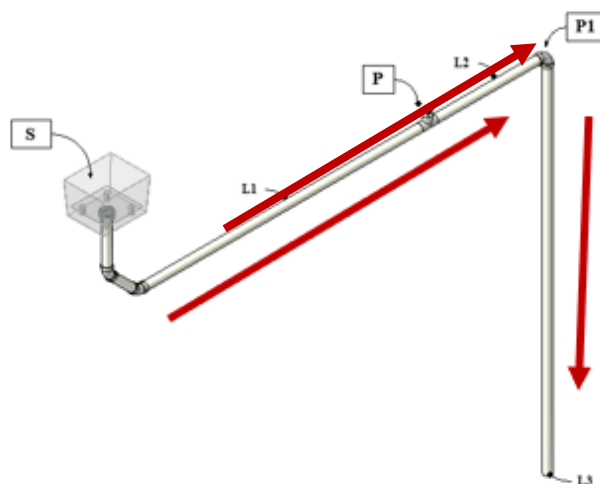
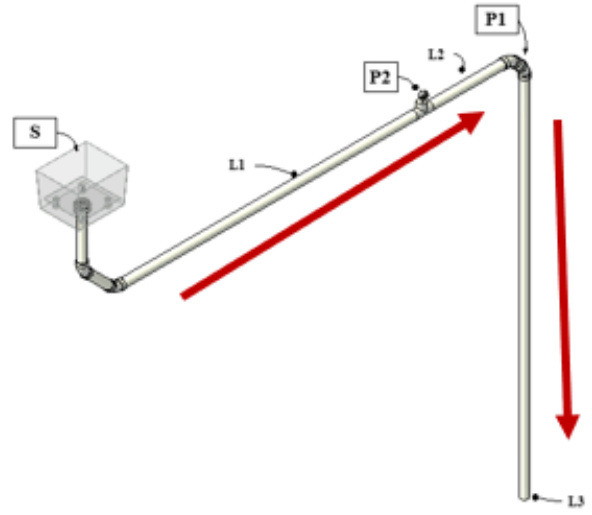


Figura 25

Diagrama del primer tipo 45 de instalación con dos codos de 45° empalmados a la bajante principal.



3.2.2. Equilibrio de energía general del sistema sifónico

El equilibrio de ambos tipos de instalación es fundamental para garantizar un correcto funcionamiento hidráulico. El objetivo es evaluar el comportamiento del sistema sifónico y determinar parámetros clave como el tiempo de cebado, presión y velocidad.

El flujo en el sistema de drenaje sifónico se desarrolla de la siguiente manera (Ver figura 24 y 25).

- Primer tramo: El caudal ingresa desde el punto S y se dirige hacia el punto P.
- Segundo paso: El caudal recorre el trayecto desde P hasta alcanzar el punto P1.
- Tercero: El caudal desciende desde P1 a través de la bajante principal hasta descargarse al aire libre en el punto L3.

Dado que la presión en S y L3 es equivalente a la presión atmosférica, se elimina de la ecuación, asimismo se plantean la siguiente ecuación de equilibrio para analizar los distintos escenarios:

$$\frac{P_S}{\gamma} + \frac{V_S^2}{2g} + Z(S) - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{P_{L3}}{\gamma} + \frac{V_{L3}^2}{2g} + Z(L3)$$

- La presión en los puntos S y L3 son equivalentes a la presión atmosférica, por lo que se eliminan de la ecuación.
- La velocidad en S es igual a cero, lo que implica que la energía cinética en este punto es nula.
- La diferencia entre $Z(S) - Z(L3)$ se considera equivalente a la ΔH .

A partir de estas consideraciones, se deduce la ecuación de equilibrio que será utilizada en todos los escenarios.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

El presente análisis se enfoca en el estudio del comportamiento del cebado en sistemas de drenaje sifónico, evaluando en diferentes escenarios a diferentes alturas de la bajante principal en dos tipos de instalación tipo 90 y tipo 45. Se realizó la experimentación In situ con objetivo de medir el tiempo de cebado bajo diversas condiciones de operación, incluyendo variaciones en el volumen y caudal de ingreso, así como el uso de sumideros sifónicos de diámetros 1, 1 1/2 y 2 pulgadas.

Este estudio busca determinar cómo influyen estos factores en el tiempo requerido para que el sistema se cebe por completo, es decir, para que se expulse la bolsa de aire y se alcance el flujo a tubo lleno.

A partir de los resultados experimentales obtenidos, se compararon los tiempos de cebado calculados utilizando una fórmula que incorpora el coeficiente K, previamente Ajustado. Este coeficiente será recalibrado en función de los datos experimentales para desarrollar una fórmula más precisa que permita predecir el tiempo de cebado en distintos escenarios. Así, se espera que los resultados obtenidos aporten no solo a la validación del modelo teórico, sino también a la optimización del diseño y operación del sistema de drenaje sifónico, mejorando su eficiencia y reduciendo posibles fallos operativos.

4.1 Cálculo hidráulico de instalación de tipo I - empalme de dos codos de 45° a la bajante principal

4.1.1 Cálculo de pérdidas de carga

Para determinar las pérdidas de carga de tubería y localizados por accesorios se calculan con las siguientes fórmulas.

$$\text{➤ } hf = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$\triangleright h_k = k \frac{V_1^2}{2g}$$

Donde:

- h_f es la pérdida de carga por fricción (m).
- f es el factor de fricción de Darcy (Adimensional).
- L es la longitud de la tubería (m).
- D es el diámetro de la tubería (m).
- V es la velocidad del fluido (m/s).
- g es la aceleración de gravedad (m/s^2).
- h_k pérdida de energía localizada (m).

4.1.2 Cálculo de factor de fricción “f”

Para determinar el f se utilizó la fórmula de Swamee Jain, ampliamente empleada en el análisis de flujo en tuberías. Esta fórmula proporciona una aproximación precisa del factor de fricción de conductos con flujo turbulento y se muestra a continuación.

$$f = \frac{0.5}{\left[\log_{10} \left(\frac{K}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

4.1.3 Características de material y fluido

Para el sistema sifónico utilizado en esta investigación se consideraron las siguientes características de tuberías de pvc y del fluido:

- Material de Tubería: PVC

- Rugosidad Relativa: $1.5 \cdot 10^{-6}$
- Viscosidad del agua: $1.116 \cdot 10^{-6}$

4.1.4 Coeficientes de fricción para accesorios “k”

Tabla 3

Fricción de accesorios “K”.

ACCESORIOS	K	FUENTE
Sumidero Sifónico	1.45	Asumido
Codo 90°	30f	Crane
Codo 45°	16f	Crane
Tee Ø2	20f	Crane

4.1.5 Cálculo del tiempo de cebado

4.1.5.1 Introducción al Análisis y Discusión de Resultados.

El presente tiene como objetivo analizar el comportamiento hidráulico del tiempo de cebado en sistemas de drenaje sifónico, considerando dos configuraciones distintas de instalación: tipo 45 y tipo 90. El estudio se basa en datos experimentales obtenidos a partir de simulaciones realizadas con sumideros de distintos diámetros, evaluando su desempeño en términos de tiempo de cebado, caudal y presión en diferentes alturas de la bajante principal.

El análisis de los resultados se enfocará en comparar los tiempos de cebado experimentales con los tiempos calculados, utilizando ecuaciones teóricas basadas en el principio de conservación de la energía, específicamente a partir de la ecuación de

Bernoulli y la ecuación de Swamee-Jain para la estimación de pérdidas por fricción en tuberías. Asimismo, se determinará el error relativo entre los valores experimentales y teóricos, lo que permitirá evaluar la precisión de los modelos utilizados.

Las simulaciones se realizaron para alturas de bajante de 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m, 2.5 m y 3.0 m, empleando sumideros con diámetros de 1, 1.5 y 2 pulgadas. Se analizará la influencia de cada una de estas variables sobre el tiempo de cebado y se determinará la constante de proporcionalidad K para cada tipo de instalación, con el fin de establecer una correlación empírica entre el volumen del tubo lleno y el tiempo de cebado.

La discusión de los resultados se estructurará en función del diámetro del sumidero, estableciendo comparaciones para cada escenario de instalación y resaltando las diferencias entre los valores experimentales y teóricos. De esta manera, se podrá identificar qué configuración ofrece un mejor desempeño en términos de eficiencia hidráulica y menor tiempo de cebado.

Finalmente, se evaluará la variabilidad significativa en los valores de K promedio, lo que permitirá establecer si el comportamiento del sistema es estable o si presenta desviaciones que puedan influir en la precisión del modelo de predicción.

4.1.6 Análisis por diámetro del sumidero

En la presente investigación, se evaluaron 6 escenarios experimentales para el sumidero sifónico de diámetro 1, 1 1/2 y 2 pulgadas. Cada escenario consistió en la simulación en la instalación de tipo 45 el cual presenta un sistema empalmado con dos codos de 45° en la bajante principal, variando las configuraciones hidráulicas en relación con la altura de la bajante.

La altura de la bajante principal se redujo progresivamente en incrementos de 0.50 metros por escenario, comenzando desde una altura inicial de 3 metros. Asimismo, sus descargas son libres en cada altura. Esta reducción fue implementada para analizar el efecto de diferentes niveles de acumulación de agua sobre el proceso de cebado.

4.1.7 Escenario 01

4.1.7.1. Diámetro de 1 pulgada.

Desarrollo hidráulico S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 4.30 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 = 3.11$
- Factor k : 2.174

Tramo P-P1 :

- Caudal : 4.30 L/s
- Longitud de tubería : 0.77
- Factor k : -

Tramo P1-L3 :

- Caudal : 4.30 L/s

- Longitud de tubería : 0.20+2.88
- Factor k : 0.551

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 3.66 metros de acuerdo a lo que se observa en la tabla 4. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 4

Cálculo hidráulico en el tramo S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):	A(m2):	V:	L(m):	k:	f:	H Inicial
S-P	Qi (l/s) :	4.30	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.11	H Inicial	3.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.174	hf:	0.17	m
	Qt (l/s) :	4.30			V:	1.86372	f:	0.017	hk:	0.38	m
	Qt (m3/s) :	0.0043							H Final:	3.35	m
P-P1	Qi (l/s) :	4.30	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.77	H Inicial	3.35	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	4.30			V:	1.86372	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0043							H Final:	3.39	m
P1-L3	Qi (l/s) :	4.30	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	3.08	H Inicial	3.39	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.551	hf:	0.17	m
	Qt (l/s) :	4.30			V:	1.86	f:	0.017	hk:	0.10	m
	Qt (m3/s) :	0.0043							H Final:	3.66	m

Tabla 5

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - h_f - h_k$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	3.00	3.91	3.66	0.25
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 6.

Tabla 6

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 01, con instalación tipo I.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
1.86	0.18

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.07 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y Error porcentual.

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7

Comparación de presión teórica y experimental para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Ítems	Presión	
	Presión -borde(mca)	Presión Centro de tubería(mca)
Teórico	- 2.66	- 2.63
Experimental	- 2.78	- 2.78
Error Porcentual (%)	4.48	5.67

4.1.7.2 Diámetro de 1 1/2 pulgadas.

Desarrollo hidráulico S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 7.40 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.104

Tramo P-P1 :

- Caudal : 7.40 L/s
- Longitud de tubería : 0.77
- Factor k : -

Tramo P1-L3 :

- Caudal : 7.40 L/s

- Longitud de tubería : 0.20+2.88
- Factor k : 0.551

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 3.08 metros de acuerdo a lo observado en la tabla 8. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 8

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):		L(m):		H Inicial		
S-P	Qi (l/s) :	7.40	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	3.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.104	hf:	0.49	m
	Qt (l/s) :	7.40			V:	3.20733	f:	0.016	hk:	1.10	m
	Qt (m3/s) :	0.0074							H Final:	2.31	m
P-P1	Qi (l/s) :	7.40	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.77	H Inicial	2.31	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.12	m
	Qt (l/s) :	7.40			V:	3.20733	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0074							H Final:	2.43	m
P1-L3	Qi (l/s) :	7.40	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	2.58	H Inicial	2.43	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	0.498	hf:	0.39	m
	Qt (l/s) :	7.40			V:	3.21	f:	0.016	hk:	0.26	m
	Qt (m3/s) :	0.0074							H Final:	3.08	m

Tabla 9

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H-h_f-h_k$ (m)
		ΔH	$h_{f_{S-L3}}+h_{k_{S-L3}}$	
Bajante Principal	3.00	3.91	3.08	0.83
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 10.

Tabla 10

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgada en el escenario 01, con instalación tipo I.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
3.21	0.52

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.31 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y error porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 11

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental para un diámetro sifónico de 1 ½ pulgada en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Ítems	Presión	
	P - borde (mca)	Presión Centro de tubería(mca)
Teórico	- 1.93	- 1.90
Experimental	- 1.73	- 1.73
Variación Porcentual (%)	10.36	8.94

4.1.7.3 Diámetro de 2 pulgada.

Confluencia en el punto S-L3

Tramo S-P :

- Caudal : 8.50 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.088

Tramo P-P1 :

- Caudal : 8.50 L/s
- Longitud de tubería : 0.77
- Factor k : -

Tramo P1-L3 :

- Caudal : 8.50 L/s
- Longitud de tubería : $0.20 + 2.88$

Factor k : 0.486

Tabla 12

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):	V:	L(m):	f:	H Inicial	hf:	hk:
S-P	Qi (l/s) :	8.40	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	3.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.089	hf:	0.62	m
	Qt (l/s) :	8.40			V:	3.64075	f:	0.015	hk:	1.41	m
	Qt (m3/s) :	0.0084							H Final:	1.87	m
P-P1	Qi (l/s) :	8.40	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.77	H Inicial	1.87	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.15	m
	Qt (l/s) :	8.40			V:	3.64075	f:	0.015	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0084							H Final:	2.02	m
P1-L3	Qi (l/s) :	8.40	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	3.08	H Inicial	2.02	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.487	hf:	0.58	m
	Qt (l/s) :	8.40			V:	3.64	f:	0.015	hk:	0.33	m
	Qt (m3/s) :	0.0084							H Final:	2.93	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.93 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{v_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 13

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H-h_f-h_k$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3}+hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	3.00	3.91	2.93	0.97
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 14.

Tabla 14

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 01, con instalación tipo I.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
3.64	0.68

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.29 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y Error Porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y

experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 15

Comparación de presión teórica y experimental para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Ítems	Presión	
	P - borde (mca)	Presión Centro de tubería-(mca)
Teórico	- 1.65	-1.62
Experimental	-1.45	- 1.45
Variación Porcentual (%)	11.86	10.22

4.1.8 Escenario 02

4.1.8.1 Diámetro de 1 pulgada.

Desarrollo Hidráulico S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.184

Tramo P-P1 :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : 0.77
- Factor k :-

Tramo P1-L3 :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : 0.20+2.88
- Factor k : 0.559

Tabla 16

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
S-P	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	3.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.184	hf:	0.16	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	0.33	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	2.91	m
P-P1	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.93	H Inicial	2.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	2.96	m
P1-L3	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	2.50	H Inicial	2.96	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.524	hf:	0.12	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73	f:	0.017	hk:	0.08	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	3.16	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 3.16 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{VL_3^2}{2g}$$

Tabla 17

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	2.500	3.41	3.16	0.25
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 18.

Tabla 18

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 02, con instalación tipo I.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
1.73	0.15

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.10 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y error porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y

experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 19

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Ítems	Presión	
	P - borde (mca)	Presión Centro de tubería(mca)
Teórico	- 2.41	- 2.38
Experimental	- 2.76	- 2.76
Variación Porcentual (%)	14.66	16.11

4.1.8.2 Diámetro de 1 1/2 pulgadas.

Confluencia en el punto S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 7.00 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.110

Tramo P-P1 :

- Caudal : 7.00 L/s
- Longitud de tubería : 0.77

➤ Factor k : -

Tramo P1-L3 :

➤ Caudal : 7.00 L/s

➤ Longitud de tubería : 0.20+2.88

➤ Factor k : 0.503

Tabla 20

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):		L(m):		H Inicial		
S-P	Qi (l/s):	7.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	3.41	m
	Q (l/s):	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.110	hf:	0.44	m
	Qt (l/s):	7.00			V:	3.03396	f:	0.016	hk:	0.99	m
	Qt (m3/s):	0.0070							H Final:	1.97	m
P-P1	Qi (l/s):	7.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.77	H Inicial	1.97	m
	Q (l/s):	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.10	m
	Qt (l/s):	7.00			V:	3.03396	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s):	0.0070							H Final:	2.08	m
P1-L3	Qi (l/s):	7.00	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	2.58	H Inicial	2.08	m
	Q (l/s):	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.503	hf:	0.35	m
	Qt (l/s):	7.00			V:	3.03	f:	0.016	hk:	0.24	m
	Qt (m3/s):	0.0070							H Final:	2.66	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.66 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 21

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 ½ pulgada en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H-h_f-h_k$ (m)
		ΔH	$h_{f_{S-L3}}+h_{k_{S-L3}}$	
Bajante Principal	2.500	3.41	2.66	0.74
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 22.

Tabla 22

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 ½ pulgada en el escenario 02, con instalación tipo I.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
3.03	0.47

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.27 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Error porcentual de presión

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 23

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 ½ pulgada en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

ítems	Presión	
	P -borde(mca)	Presión Centro de tubería (mca)
Teórico	-1.53	- 1.50
Experimental	-1.45	- 1.45
Variación Porcentual (%)	5.53	3.65

4.1.8.3 Diámetro de 2 pulgada.

Confluencia en el punto S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 7.40 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.104

Tramo P-P1 :

- Caudal : 7.40 L/s
- Longitud de tubería : 0.77
- Factor k : -

Tramo P1-L3 :

- Caudal : 7.40 L/s
- Longitud de tubería : 0.20+2.88
- Factor k : 0.498

Tabla 24

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):		L(m):		H Inicial		
S-P	Qi (l/s) :	7.40	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.11	H Inicial	3.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.104	hf:	0.47	m
	Qt (l/s) :	7.40			V:	3.20733	f:	0.016	hk:	1.10	m
	Qt(m3/s):	0.0074							H Final:	1.83	m
P-P1	Qi (l/s) :	7.40	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.77	H Inicial	1.83	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.12	m
	Qt (l/s) :	7.40			V:	3.20733	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt(m3/s):	0.0074							H Final:	1.95	m
P1-L3	Qi (l/s) :	7.40	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	2.58	H Inicial	1.95	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.498	hf:	0.39	m
	Qt (l/s) :	7.40			V:	3.21	f:	0.016	hk:	0.26	m
	Qt(m3/s):	0.0074							H Final:	2.60	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.91 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 25

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H-h_f-h_k$ (m)
		ΔH	$h_{f_{S-L3}}+h_{k_{S-L3}}$	
Bajante Principal	2.500	3.41	2.60	0.80
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 26.

Tabla 26

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 02, con instalación tipo I.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
3.21	0.52

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.28 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y error porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y

experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 27

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Ítems	Presión	
	P – borde(mca)	Presión Centro de tubería(mca)
Descripción		
Teórico	- 1.57	- 1.54
Experimental	- 1.45	- 1.45
Variación Porcentual (%)	7.64	5.84

4.1.9 Escenario 03

4.1.9.1 Diámetro de 1 pulgada.

Cálculo hidráulico S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.184

Tramo P-P1 :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : 0.77
- Factor k :-

Tramo P1-L3 :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : 0.20+2.88
- Factor k : 0.559

Tabla 28

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
S-P	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	2.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.184	hf:	0.16	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	0.33	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	2.41	m
P-P1	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.77	H Inicial	2.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	2.45	m
P1-L3	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	2.08	H Inicial	2.45	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.559	hf:	0.10	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73	f:	0.017	hk:	0.09	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	2.64	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.64 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 29

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	2.00	2.91	2.64	0.27
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 30.

Tabla 30

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 03, con instalación tipo I.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
1.73	0.15

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.12 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y Error Porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones

obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 31

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Ítems	Presión	
Descripción	P – borde (mca)	Presión Centro de tubería(mca)
Teórico	- 1.88	- 1.85
Experimental	- 2.07	- 2.07
Variación Porcentual (%)	9.89	11.66

4.1.9.2 Diámetro de 1 1/2 pulgadas.

Cálculo Hidráulico S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 6.21 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.125

Tramo P-P1 :

- Caudal : 6.21 L/s
- Longitud de tubería : 0.77
- Factor k :-

Tramo P1-L3 :

- Caudal : 6.21 L/s
- Longitud de tubería : 0.20+2.88
- Factor k : 0.514

Tabla 32

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):	A(m2):	V:	L(m):	k:	f:	H Inicial
S-P	Qi (l/s) :	6.21	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	2.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.125	hf:	0.36	m
	Qt (l/s) :	6.21			V:	2.69155	f:	0.016	hk:	0.78	m
	Qt (m3/s) :	0.0062							H Final:	1.76	m
P-P1	Qi (l/s) :	6.21	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.77	H Inicial	1.76	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.08	m
	Qt (l/s) :	6.21			V:	2.69155	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0062							H Final:	1.85	m
P1-L3	Qi (l/s) :	6.21	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	2.08	H Inicial	1.85	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.514	hf:	0.23	m
	Qt (l/s) :	6.21			V:	2.69	f:	0.016	hk:	0.19	m
	Qt (m3/s) :	0.0062							H Final:	2.26	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.26 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 33

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	2.00	2.91	2.26	0.64
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 34.

Tabla 34

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgada en el escenario 03, con instalación tipo I.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
2.69	0.37

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.27 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Error porcentual de presión

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va a aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y

experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 35

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

ítems	Presión	
	P – borde(mca)	Presión Centro de tubería(mca)
Descripción		
Teórico	- 1.31	- 1.28
Experimental	-1.38	- 1.38
Variación Porcentual (%)	5.22	7.68

4.1.9.3 Diámetro de 2 pulgada.

Confluencia en el punto S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 7.40 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.105

Tramo P-P1 :

- Caudal : 7.40 L/s

➤ Longitud de tubería : 0.77

➤ Factor k : -

Tramo P1-L3 :

➤ Caudal : 7.40 L/s

➤ Longitud de tubería : 0.20+2.88

➤ Factor k : 0.499

Tabla 36

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m)	A(m ²)	L(m)	k	H Inicial	hf	H Final
S-P	Qi (l/s) :	7.40	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	2.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	2.105	hf:	0.49	m
	Qt (l/s) :	7.40			V:	3.20733	f:	0.016	hk:	1.10	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0074							H Final:	1.31	m
P-P1	Qi (l/s) :	7.40	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.77	H Inicial	1.31	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	-	hf:	0.12	m
	Qt (l/s) :	7.40			V:	3.20733	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0074							H Final:	1.42	m
P1-L3	Qi (l/s) :	7.40	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	2.08	H Inicial	1.42	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00	k:	0.499	hf:	0.31	m
	Qt (l/s) :	7.40			V:	3.21	f:	0.016	hk:	0.26	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0074							H Final:	2.00	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.00 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 37

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	2.00	2.91	2.40	0.51
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 38.

Tabla 38

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 03, con instalación tipo I.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
3.21	0.52

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.01 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y error porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va a aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones

obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 39

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

ítems	Presión	
	Descripción	
	P – borde(mca)	Presión Centro de tubería(mca)
Teórico	- 1.04	- 1.01
Experimental	- 1.04	- 1.04
Variación Porcentual (%)	0.37	2.58

4.1.10 Escenario 04

4.1.10.1 Diámetro de 1 pulgada.

Cálculo Hidráulico S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.184

Tramo P-P1 :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : 0.77
- Factor k :-

Tramo P1-L3 :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : 0.20+2.88
- Factor k : 0.599

Tabla 40

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
S-P	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	2.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.184	hf:	0.16	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	0.33	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	1.91	m
P-P1	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.77	H Inicial	1.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	1.95	m
P1-L3	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	1.58	H Inicial	1.95	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	0.559	hf:	0.08	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73	f:	0.017	hk:	0.09	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	2.11	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.11 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{VL_3^2}{2g}$$

Tabla 41

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	1.500	2.41	2.11	0.29
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 42.

Tabla 42

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 04, con instalación tipo I.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
1.73	0.15

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.14 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y error porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones

obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 43

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

ítems	Presión	
	P - borde(mca)	Presión Centro de tubería(mca)
Descripción		
Teórico	- 1.36	- 1.33
Experimental	- 1.38	- 1.38
Variación Porcentual (%)	1.54	3.83

4.1.10.2 Diámetro de 1 1/2 pulgadas.

Cálculo Hidráulico S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P:

- Caudal : 7.40 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.105

Tramo P-P1 :

- Caudal : 7.40 L/s
- Longitud de tubería : 0.77
- Factor k : -

Tramo P1-L3:

- Caudal : 7.40 L/s
- Longitud de tubería : 0.20+2.88
- Factor k : 0.499

Tabla 44

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 ½ pulgada en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):	A(m ²):	V:	L(m):	k:	f:	H Inicial
S-P1	Qi (l/s) :	6.90	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	2.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	2.112	hf:	0.43	m
	Qt (l/s) :	6.90			V:	2.99062	f:	0.016	hk:	0.96	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0069							H Final:	1.01	m
P-P1	Qi (l/s) :	6.90	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.77	H Inicial	1.01	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	-	hf:	0.10	m
	Qt (l/s) :	6.90			V:	2.99062	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0069							H Final:	1.11	m
P1-L3	Qi (l/s) :	6.90	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	1.58	H Inicial	1.11	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00	k:	0.504	hf:	0.21	m
	Qt (l/s) :	6.90			V:	2.99	f:	0.016	hk:	0.23	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0069							H Final:	1.55	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 1.55 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{VL_3^2}{2g}$$

Tabla 45

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	1.500	2.41	1.55	0.85
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 46.

Tabla 46

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgada en el escenario 04, con instalación tipo I.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
2.99	0.46

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.40 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Error porcentual de presión

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y

experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 47

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

ítems	Presión	
	Descripción	P – borde (mca)
Teórico	- 0.66	-0.63
Experimental	- 0.69	- 0.69
Variación Porcentual (%)	4.17	9.11

4.1.10.3 Diámetro de 2 pulgadas.

Cálculo Hidráulico S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 7.00 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.110

Tramo P-P1 :

- Caudal : 7.00 L/s

➤ Longitud de tubería : 0.77

➤ Factor k : -

Tramo P1-L3 :

➤ Caudal : 7.00 L/s

➤ Longitud de tubería : 0.20+2.88

➤ Factor k : 0.503

Tabla 48

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m)	A(m ²)	V	L(m)	k	f	H Inicial
S-P	Qi (l/s) :	7.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	2.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	2.110	hf:	0.44	m
	Qt (l/s) :	7.00			V:	3.03396	f:	0.016	hk:	0.99	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0070							H Final:	0.97	m
P-P1	Qi (l/s) :	7.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.77	H Inicial	0.97	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	-	hf:	0.10	m
	Qt (l/s) :	7.00			V:	3.03396	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0070							H Final:	1.08	m
P1-L3	Qi (l/s) :	7.00	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	1.08	H Inicial	1.08	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.0023	k:	0.503	hf:	0.15	m
	Qt (l/s) :	7.00			V:	3.03	f:	0.016	hk:	0.24	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0070							H Final:	1.46	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.00 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 49

Determinación de energía cinética, comparación para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	1.500	2.41	1.46	0.95
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 50.

Tabla 50

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 04, con instalación tipo I.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
3.03	0.47

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.48 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Error porcentual de presión

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y

experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 51

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

ítems	Presión	
	P – borde (mca)	Presión Centro de tubería (mca)
Teórico	-0.64	- 0.61
Experimental	- 0.62	- 0.62
Variación Porcentual (%)	3.07	1.70

4.1.11 Escenario 05

4.1.11.1 Diámetro de 1 pulgada.

Cálculo Hidráulico S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : 0.35 + 0.425 +2.33+0.16 =3.27
- Factor k : 2.105

Tramo P-P1 :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : 0.77

➤ Factor k : -

Tramo P1-L3 :

➤ Caudal : 4.00 L/s

➤ Longitud de tubería : 0.20+2.88

➤ Factor k : 0.599

Tabla 52

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m)	V	L(m)	f	H Inicial	hf	hk
S-P	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	1.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.184	hf:	0.16	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	0.33	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	1.41	m
P-P1	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.77	H Inicial	1.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	1.45	m
P1-L3	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	1.08	H Inicial	1.45	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	0.559	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73	f:	0.017	hk:	0.09	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	1.59	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.11 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 53

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H-h_f-h_k$ (m)
		ΔH	$h_{f_{S-L3}}+h_{k_{S-L3}}$	
Bajante Principal	1.00	1.91	1.59	0.32
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 54.

Tabla 54

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 05, con instalación tipo I.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
1.75	0.15

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.01 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y error porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 55

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Ítems	Presión	
	P –borde (mca)	Presión Centro de tubería (mca)
Teórico	- 0.83	- 0.80
Experimental	- 1.14	- 1.14
Variación Porcentual (%)	36.63	41.72

4.1.11.2 Diámetro de 1 1/2 pulgadass.

Cálculo Hidráulico S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : 0.35 + 0.425 +2.33+0.16 =3.27
- Factor k : 2.184

Tramo P-P1 :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : 0.77
- Factor k : -

Tramo P1-L3 :

- Caudal : 7.40 L/s
- Longitud de tubería : 0.20+2.88
- Factor k : 0.599

Tabla 56

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 ½ pulgada en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):	A(m2):	L(m):	k:	H Inicial	hf:	hk:
S-P	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	1.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.184	hf:	0.16	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	0.33	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	1.41	m
P-P1	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.77	H Inicial	1.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	1.45	m
P1-L3	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	1.08	H Inicial	1.45	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	0.559	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73	f:	0.017	hk:	0.09	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	1.59	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 1.59 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 57

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H-h_f-h_k$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3}+hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	1.00	1.91	1.59	0.32
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 58.

Tabla 58

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgada en el escenario 05, con instalación tipo I.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
1.73	0.15

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.17 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Error porcentual de presión

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 59

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Ítems	Presión	
	P – borde (mca)	Presión Centro de tubería (mca)
Descripción		
Teórico	- 0.66	- 0.63
Experimental	- 0.69	- 0.69
Variación Porcentual (%)	4.97	9.99

4.1.11.3 Diámetro de 2 pulgadas.

Cálculo Hidráulico S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 4.30 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.174

Tramo P-P1 :

- Caudal : 4.30 L/s
- Longitud de tubería : 0.77
- Factor k : -

Tramo P1-L3 :

- Caudal : 4.30 L/s
- Longitud de tubería : 0.20+2.88
- Factor k : 0.551

Tabla 60

Cálculo hidráulico S-L3, Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
S-P	Qi (l/s) :	4.30	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	1.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.174	hf:	0.18	m
	Qt (l/s) :	4.30			V:	1.86372	f:	0.017	hk:	0.38	m
	Qt (m3/s) :	0.0043							H Final:	1.34	m
P-P1	Qi (l/s) :	4.30	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.77	H Inicial	1.34	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	4.30			V:	1.86372	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0043							H Final:	1.38	m
P1-L3	Qi (l/s) :	4.30	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	1.08	H Inicial	1.38	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	0.551	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	4.30			V:	1.86	f:	0.017	hk:	0.10	m
	Qt (m3/s) :	0.0043							H Final:	1.54	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 1.54 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 61

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	1.00	1.91	1.54	0.37
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 62.

Tabla 62

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 05, con instalación tipo I.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
1.86	0.18

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.19 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Error porcentual de presión

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va a aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 63

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo I.

Ítems	Presión	
	P –borde(mca)	Presión Centro de tubería(mca)
Descripción		
Teórico	- 0.61	- 0.58
Experimental	- 0.62	-0.62
Variación Porcentual (%)	1.90	7.19

4.1.12 Escenario 06

En este escenario se analizó el comportamiento hidráulico en relación con el tiempo de cebado a partir de simulaciones realizadas con sumideros de diferentes diámetros de 1, 1 ½ y 2. Durante las pruebas, se observó que el sistema no logró ceñirse a una altura de 0.50 m, lo que indica que en estas condiciones no se alcanzó la presión suficiente para activar el flujo sifónico.

4.1.13 Comportamiento del tiempo de cebado experimental y calculado

Después de analizar los diferentes escenarios se realizó una comparación del tiempo de cebado de cálculo experimental y cálculo teórico para sumideros sifónicos de diámetros 1, 1 1/2 y 2 pulgadas como se visualiza en la siguiente figura. El cual presentan pequeñas variaciones más aún en los diámetros mayores que se encuentran en el rango aceptable para su análisis (ver anexo 4).

Tabla 64

Comportamiento del tiempo de cebado calculado y experimental.

Tipo	H(m)	Diámetro(m)	Caudal(m3/s)	Tiempo de cebado experimental (Segundos)	Volumen tubo lleno(m3)	V/Q	K PROMEDIO	Tiempo de cebado Cálculado (Segundos)
tipo 45	3.00	0.0254	0.004312184	4.350000000	0.014339822	3.325419333	1.358407677	4.517275152
		0.0381	0.006606846	1.743333333	0.014339822	2.170449012	0.801346568	1.739281867
		0.0508	0.006757448	1.580000000	0.014339822	2.122076608	0.794911274	1.686862621
	2.50	0.0254	0.003970207	6.030000000	0.013326407	3.356602219	1.804526005	6.057075992
		0.0381	0.006185513	1.625000000	0.013326407	2.154454704	0.761740886	1.641136236
		0.0508	0.006215231	1.295000000	0.013326407	2.144153185	0.599216771	1.284812548
	2.00	0.0254	0.003721677	6.157000000	0.012312992	3.308452438	1.858671058	6.149324795
		0.0381	0.005581003	2.613333333	0.012312992	2.206232724	1.185670749	2.615865606
		0.0508	0.005085315	3.910000000	0.013326407	2.620566398	1.044400468	2.736920773
	1.50	0.0254	0.003486471	7.346000000	0.011299577	3.240978058	2.258876340	7.320968653
		0.0381	0.005548048	2.938333333	0.011299577	2.036676072	1.443483008	2.939907303
		0.0508	0.005625958	1.775000000	0.011299577	2.008471532	0.884978471	1.777454065
	1.00	0.0254	0.003477957	10.700000000	0.010286162	2.957529592	3.634828680	10.750113382
		0.0381	0.004832992	4.460000000	0.010286162	2.128321549	2.101369362	4.472389697
		0.0508	0.005465003	3.788333333	0.010286162	1.882187746	2.006643560	3.776879920

4.1.14 Análisis del coeficiente K

El coeficiente K es una constante de seguridad que garantiza el diseño de ingeniería para el sistema de drenaje sifónico, asimismo durante la simulación realizadas en los escenarios a diferentes alturas y diferentes diámetros de sumideros sifónicos en in situ, volumen en tubería guarda una relación directamente proporcional al caudal de ingreso, por ello se obtuvo diferentes valores de K para diferentes diámetros como 1, 1 1/2 y 2 pulgadas.

4.1.15 Análisis del error relativo

El análisis del error relativo se llevó a cabo comparando el tiempo de cebado medida in situ con el tiempo de cebado calculado. Para que los resultados sean aceptables, la diferencia entre ambos valores debe estar dentro de un rango de 5% y 10%, lo cual es considerado adecuado. A continuación, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 65

Análisis del error relativo en porcentaje de tipo 45.

Tipo	H(m)	Diámetro(m)	Caudal(m3/s)	Tiempo de cebado experimental (Segundos)	Volumen tubo lleno(m3)	V/Q	K PROMEDIO	Tiempo de cebado Cálculado (Segundos)	Error Relativo(%)
tipo 45	3.00	0.0254	0.004312184	4.350000000	0.014339822	3.325419333	1.358407677	4.517275152	3.845405792
		0.0381	0.006606846	1.743333333	0.014339822	2.170449012	0.801346568	1.739281867	0.232397668
		0.0508	0.006757448	1.580000000	0.014339822	2.122076608	0.794911274	1.686862621	6.763457018
	2.50	0.0254	0.003970207	6.030000000	0.013326407	3.356602219	1.804526005	6.057075992	0.449021424
		0.0381	0.006185513	1.625000000	0.013326407	2.154454704	0.761740886	1.641136236	0.992999137
		0.0508	0.006215231	1.295000000	0.013326407	2.144153185	0.599216771	1.284812548	0.786675798
	2.00	0.0254	0.003721677	6.157000000	0.012312992	3.308452438	1.858671058	6.149324795	0.124658188
		0.0381	0.005581003	2.613333333	0.012312992	2.206232724	1.185670749	2.615865606	0.096898206
		0.0508	0.005085315	3.910000000	0.013326407	2.620566398	1.044400468	2.736920773	30.002026266
	1.50	0.0254	0.003486471	7.346000000	0.011299577	3.240978058	2.258876340	7.320968653	0.340747984
		0.0381	0.005548048	2.938333333	0.011299577	2.036676072	1.443483008	2.939907303	0.053566740
		0.0508	0.005625958	1.775000000	0.011299577	2.008471532	0.884978471	1.777454065	0.138257207
	1.00	0.0254	0.003477957	10.700000000	0.010286162	2.957529592	3.634828680	10.750113382	0.468349363
		0.0381	0.004832992	4.460000000	0.010286162	2.128321549	2.101369362	4.472389697	0.277795895
		0.0508	0.005465003	3.788333333	0.010286162	1.882187746	2.006643560	3.776879920	0.302333821

Gráfico 1

Comparación de tiempo de cebado y error relativo – tipo 45.

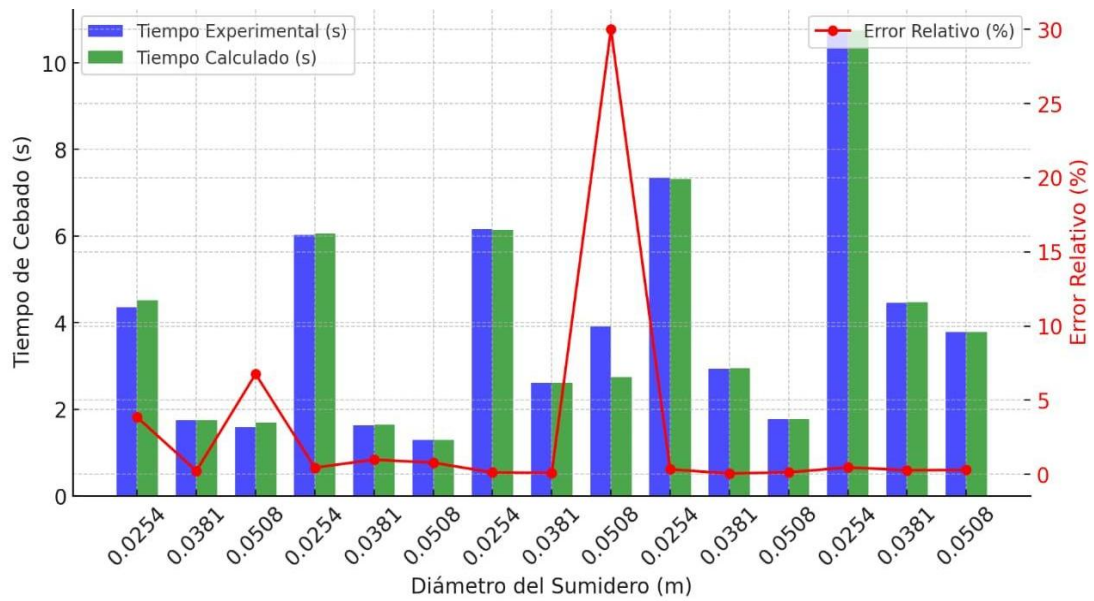


Gráfico 2

Presión experimental y tiempo de cebado de tipo 45.

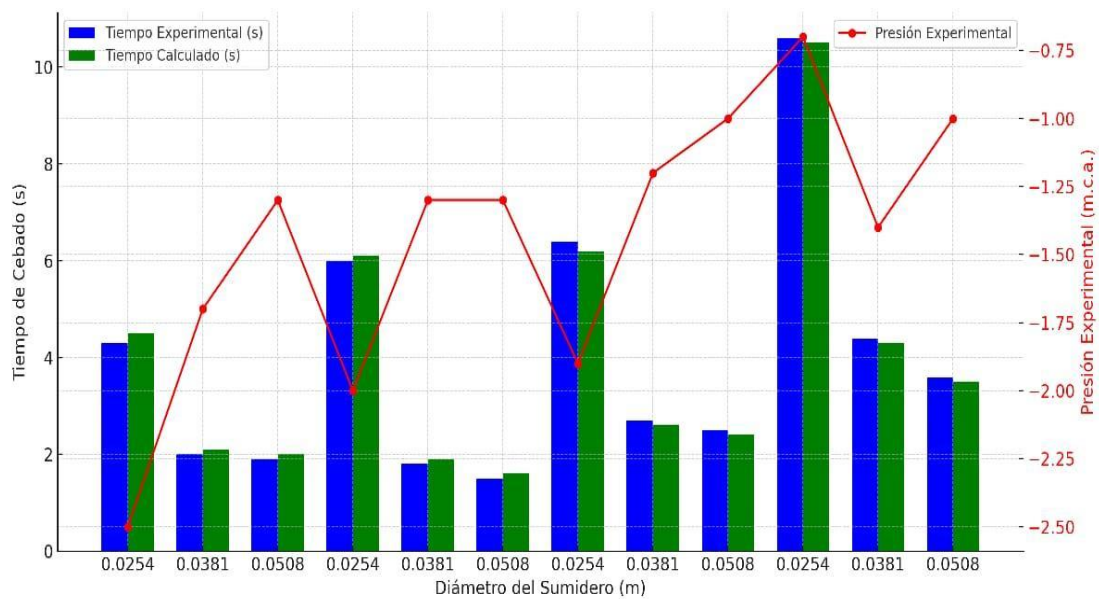


Gráfico 3

Relación entre Altura y tiempo de cebado-tipo 45.

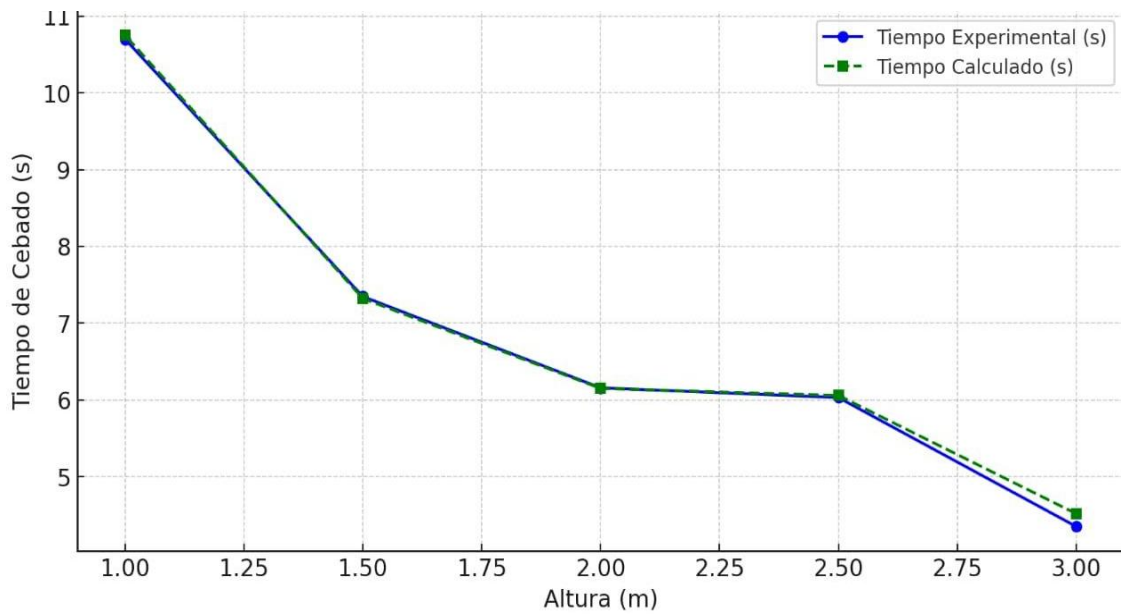
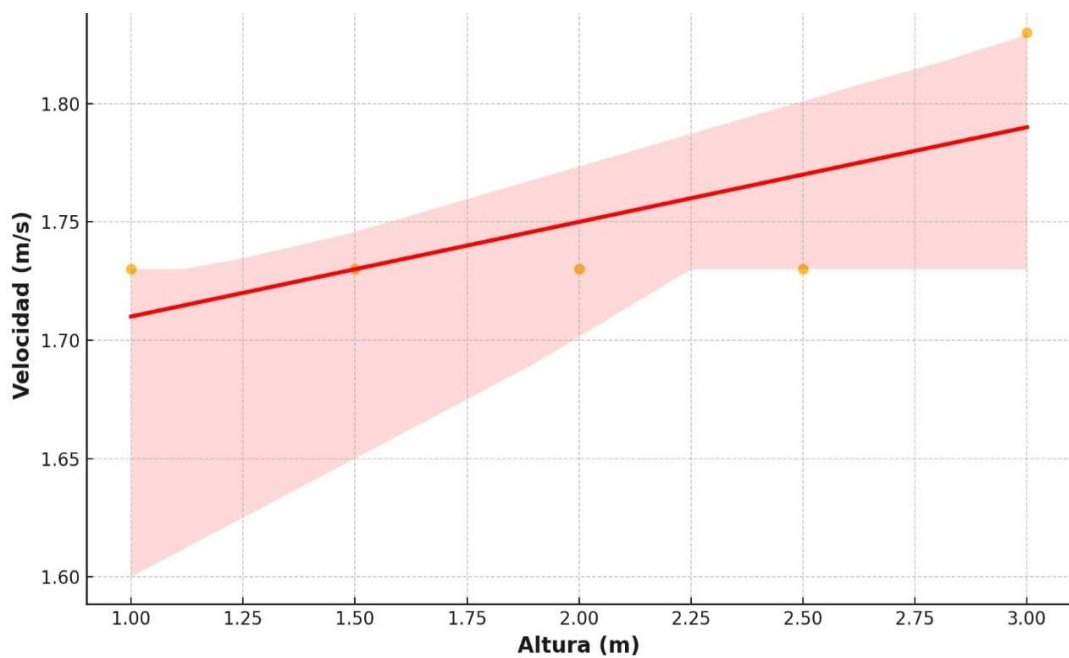


Gráfico 4

Relación entre altura y velocidad-tipo 45.



4.1.16 Comparación general entre todos los diámetros 1, 1 1/2 y 2 pulgadas

4.1.16.1 Comparación del tiempo de cebado promedio.

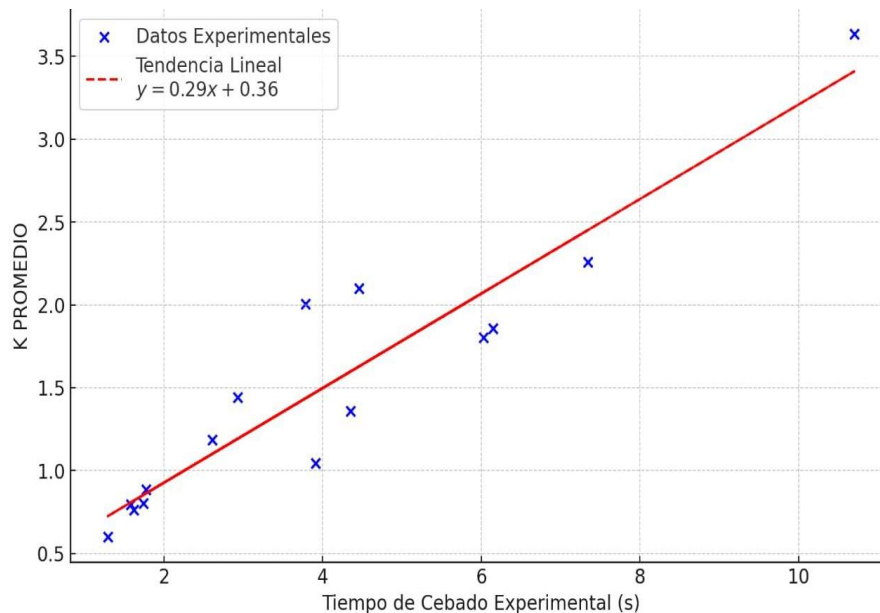
En esta comparación se ha considerado que el ingreso al sumidero sifónico debe presentar tubería llena. Asimismo, a la salida de descarga final del sistema, por ello se ha considerado las siguientes longitudes de la bajante secundaria, horizontal y bajante principal con la finalidad de determinar el tiempo de cebado del sistema.

4.1.16.2. Comparación del coeficiente K.

El coeficiente K es una constante que asegura el diseño de cálculo para el tiempo de cebado en diseños de ingeniería, para ello se ha agregado una constante de seguridad el cual se consideró los parámetros de caudal de ingreso, volumen del sistema y tiempo de cebado del sistema.

Gráfico 5

K promedio respecto al tiempo de cebado experimental – tipo 45.

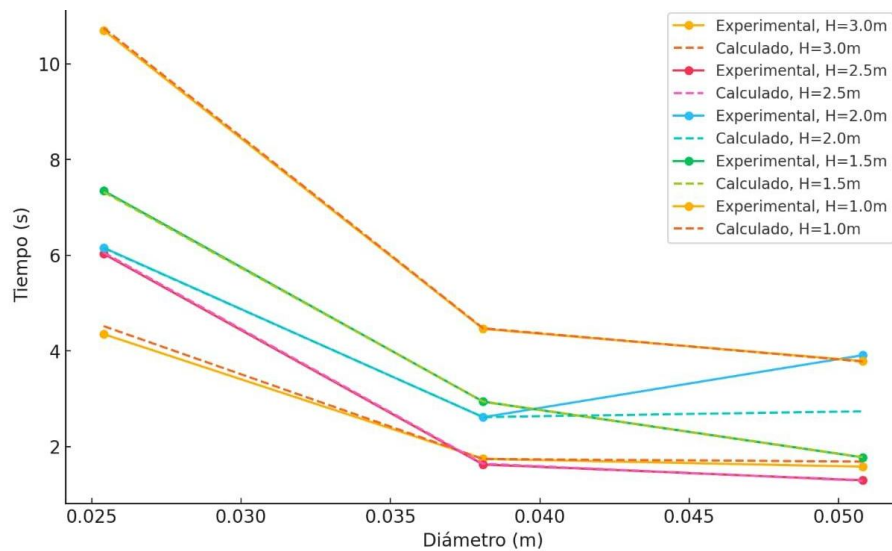


4.1.17 Análisis de tendencia

4.1.17.1. Gráfica de tendencia.

Gráfico 6

Tiempos experimentales vs tiempos calculados - tipo 45.



4.1.18 Desarrollo de la fórmula general para el tiempo de cebado

Para establecer la fórmula general del tiempo de cebado, se determinó que este depende directamente del caudal y del volumen de ingreso, de acuerdo con los análisis realizados. Además, se incorporó un factor de seguridad representado por el parámetro, calculado como el promedio de los valores obtenidos en los diferentes escenarios experimentales simulados.

Con el objetivo de garantizar la confiabilidad del modelo propuesto, se evaluó la desviación estándar de K, lo que permitió validar su consistencia y su aplicabilidad en el ámbito de la ingeniería. A continuación, se presenta el desarrollo técnico del análisis realizado.

➤ Promedio = $\frac{\sum_{i=1}^{15} K_i}{n}$

$$\text{Promedio} = \frac{k_1+k_2+k_3+k_4+\dots+k_{15}}{15}$$

$$\text{Promedio} = 1.502604725$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - \text{Promedio})^2}{n-1}}$$

Ki: Elemento de k

σ : Desviación estándar, Promedio: K

n: Número total de datos

Desviación estándar (σ)

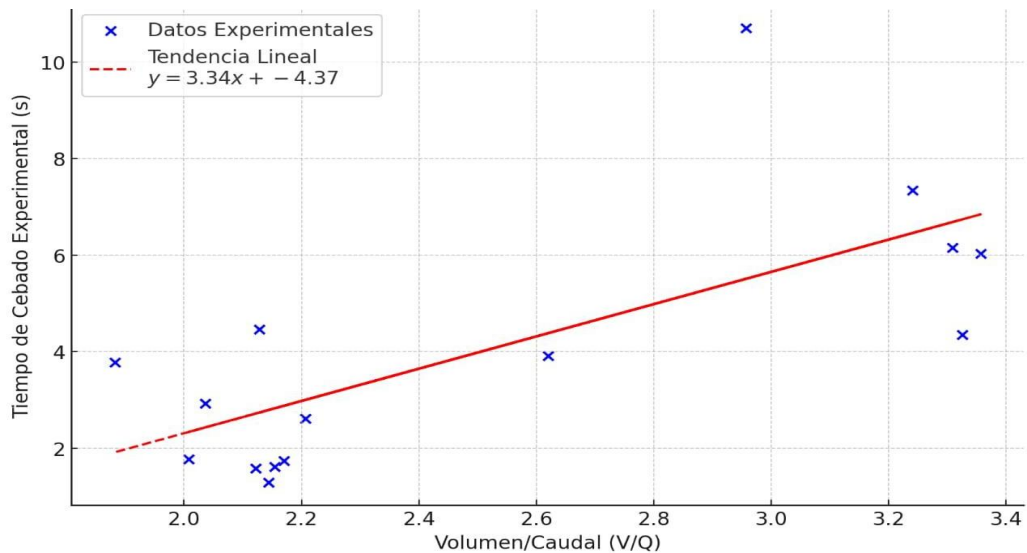
$$\sigma = 0.775567335$$

Se observa una variabilidad significativa, aproximadamente 51.6% de la media, lo que indica una dispersión moderada-alta. A pesar de este nivel de dispersión, los valores obtenidos son aceptables y pueden utilizarse de manera confiable como un factor de seguridad en la fórmula propuesta.

4.1.18.1 Análisis de la relación V/Q y el tiempo de cebado.

Gráfico 7

Relación entre volumen /caudal y tiempo de cebado experimental – tipo 45.



4.1.18.2 Propuesta de la fórmula general para el tiempo de cebado.

El tiempo de cebado en un sistema de drenaje sifónico es un parámetro crítico para garantizar su funcionamiento a tubo lleno, lo cual requiere que el sistema purgue el aire en un tiempo muy reducido. Este tiempo se formula en función de los parámetros clave, como el volumen del colector, la bajante principal y el caudal de ingreso proveniente de la tubería de bajante secundaria. La relación generalizada fue obtenida a partir del análisis desarrollado, asegurando su aplicabilidad y consistencia en diversas condiciones.

$$T_f = \frac{1.50V_p}{Q_i}$$

T_f : Tiempo de cebado(s)

V_p : Volumen sistema(m³)

Q_i : Caudal de ingreso en bajante secundaria (m³/s)

4.1.19 Comparación área vs caudal en cobertura de techo

4.1.19.1 Fórmula utilizada.

La relación entre el caudal, intensidad y área servida se calcula de la siguiente manera:

$$A = \frac{Q}{I \times C}, \text{ donde:}$$

- A: Área servida (m²)
- Q: Caudal máximo (M³/s)
- I: Intensidad de lluvia(m/s)
- C: Coeficiente de escorrentía, valor típico: C=0.8

4.1.19.2. Datos iniciales.

Los diámetros seleccionados para nuestro sistema son de 1", 1.5" y 2", considerando las intensidades de lluvia características de cada región: 38 mm/h para la costa, 100 mm/h para la sierra y 100 mm/h para la selva.

Asimismo, se calculó el promedio de los caudales correspondientes a cada diámetro, obteniéndose los siguientes valores:

- para 1", Q=0.00379370 m³/s
- para 1.5", Q=0.00575088 m³/s
- para 2", Q=0.00582979 m³/s.

Se ha adoptado un coeficiente de escorrentía de 0.8, considerando techos impermeables como superficie de diseño.

4.1.19.3 Cálculo de área servida.

Para cada combinación de intensidad de lluvia de y diámetros, sustituimos en la fórmula:

$$A = \frac{Q}{I \times C}$$

- A: Área servida (m²)
- Q: Caudal máximo (M³/s)
- I: Intensidad de lluvia(m/s)
- C: coeficiente de escorrentía, valor típico: C=0.8

Se consideró la intensidad de lluvia

- Costa: Se considera una intensidad de lluvia en $I=1.05556 \times 10^{-5}$ m/s (38 mm/h) ,este valor se basa en el evento ocurrido durante el fenómeno de El niño en los años 1982-1983, cuando, según registros del SENAMHI, la ciudad de tumbes presentó una precipitación diaria de 304 mm/día si se distribuye uniformemente durante 8 horas continuas. Este valor ha sido adoptado como referencia para el diseño de ingeniería de drenaje sifónico.
- Sierra: se adoptó una intensidad de lluvia de $I=2.77778 \times 10^{-5}$ m/s, de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica de Salud N° 119-MINSA-DGIEM-V.01,

específicamente en el ítem 6.2.3.6 drenaje pluvial. La norma indica que si no se conoce la intensidad de lluvia es recomendable considerar 100 mm/h.

- Selva: se considera una intensidad de lluvia $I=2.77778 \cdot 10^{-5} \text{m/s}$, de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica de Salud N° 119-MINSA-DGIEM-V.01, específicamente en el ítem 6.2.3.6 drenaje pluvial. La norma indica que si no se conoce la intensidad de lluvia es recomendable considerar 100 mm/h.

Tabla 66

Cuadro de área de cobertura de un sumidero sifónico – tipo 45.

Diámetro	Costa (38mm/h)	Sierra(100 mm/h)	Selva (100 mm/h)
1 pulgada	287.52 m ²	109.26 m ²	109.26 m ²
1 1/2 pulgadass	435.86 m ²	165.63 m ²	165.63 m ²
2 pulgadas	441.84 m ²	167.90 m ²	167.90 m ²

4.2 Cálculo hidráulico de instalación de tipo II - empalme de codo de 90° a la bajante principal

Descripción de los escenarios

En la presente investigación, se evaluaron 6 escenarios experimentales para el sumidero sifónico de diámetro 1, 1 1/2 y 2 pulgadas. Cada escenario consistió en la simulación en la instalación de tipo II el cual presenta un sistema empalmado con un codo de 90° en la bajante principal, variando las configuraciones hidráulicas en relación con la altura de la bajante.

La altura de la bajante principal se redujo progresivamente en incrementos de 0.50 metros por escenario, comenzando desde una altura inicial de 3 metros. Asimismo, sus descargas son libres en cada altura. Esta reducción fue implementada para analizar el efecto de diferentes niveles de acumulación de agua sobre el proceso de cebado.

4.2.1 Escenario 01

4.2.1.1 Diámetro de 1 pulgada.

Cálculo Hidráulico S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 4.30 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 = 3.11$
- Factor k : 2.174

Tramo P-P1 :

- Caudal : 4.30 L/s
- Longitud de tubería : 0.93
- Factor k : -

Tramo P1-L3 :

- Caudal : 4.30 L/s
- Longitud de tubería : 3.00
- Factor k : 0.517

Tabla 67

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):		L(m):		H Inicial		
S-P	Qi (l/s) :	4.30	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	3.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.174	hf:	0.18	m
	Qt (l/s) :	4.30			V:	1.86372	f:	0.017	hk:	0.38	m
	Qt (m3/s) :	0.0043							H Final:	3.34	m
P-P1	Qi (l/s) :	4.30	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.93	H Inicial	3.34	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	4.30			V:	1.86	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0043							H Final:	3.39	m
P1-L3	Qi (l/s) :	4.30	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	3.00	H Inicial	3.39	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	0.517	hf:	0.17	m
	Qt (l/s) :	4.30			V:	1.86	f:	0.017	hk:	0.09	m
	Qt (m3/s) :	0.0043							H Final:	3.65	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 3.66 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 68

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H-h_f-h_k$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	3.00	3.91	3.65	0.26
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 69.

Tabla 69

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 01, con instalación tipo II.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
1.86	0.18

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.08 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Error porcentual de presión

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va a aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 70

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

ítems	Presión	
	P – borde (mca)	Presión Centro de tubería (mca)
Teórico	- 2.61	- 2.58
Experimental	- 2.83	-2.83
Variación Porcentual (%)	8.49	9.76

4.2.1.2. Diámetro de 1 1/2 pulgadass.

Cálculo Hidráulico S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 7.40 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.174

Tramo P-P1 :

- Caudal : 7.40 L/s
- Longitud de tubería : 0.93
- Factor k : -

Tramo P1-L3 :

- Caudal : 7.40 L/s
- Longitud de tubería : 3.00
- Factor k : 0.467

Tabla 71

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):	A(m ²):	V:	L(m):	k:	f:	H Inicial
S1-P	Qi (l/s) :	7.40	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	3.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	2.104	hf:	0.49	m
	Qt (l/s) :	7.40			V:	3.20733	f:	0.016	hk:	1.10	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0074							H Final:	2.31	m
P-P1	Qi (l/s) :	7.40	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.93	H Inicial	2.31	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	-	hf:	0.14	m
	Qt (l/s) :	7.40			V:	3.21	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0074							H Final:	2.45	m
P1-L3	Qi (l/s) :	7.40	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	3.00	H Inicial	2.45	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	0.467	hf:	0.45	m
	Qt (l/s) :	7.40			V:	3.21	f:	0.016	hk:	0.24	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0074							H Final:	3.15	m

Tabla 72

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H-h_f-h_k$ (m)
		ΔH	$h_{f_{S-L3}} + h_{k_{S-L3}}$	
Bajante Principal	3	3.91	3.15	0.76
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.16			

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 3.08 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H-h_{f_{S-L3}}-h_{k_{S-L3}}=\frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 73.

Tabla 73

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgada en el escenario 01, con instalación tipo II.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
3.21	0.52

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.23 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y error porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 74

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Ítems	Presión	
	P - borde (mca)	Presión Centro de tubería (mca)
Teórico	- 1.93	- 1.90
Experimental	- 2.07	- 2.07
Variación Porcentual (%)	7.26	8.96

4.2.1.3 Diámetro de 2 pulgadas.

Cálculo Hidráulico S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P:

- Caudal : 8.50 L/s

- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$

➤ Factor k : 2.088

Tramo P-P1 :

➤ Caudal : 8.50 L/s

➤ Longitud de tubería : 0.93

➤ Factor k :-

Tramo P1-L3 :

➤ Caudal : 8.50 L/s

➤ Longitud de tubería : 3.00

Factor k : 0.456

Tabla 75

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):	A(m ²):	V:	L(m):	k:	f:	H Inicial
S-P	Qi (l/s) :	8.40	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	3.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	2.089	hf:	0.62	m
	Qt (l/s) :	8.40			V:	3.64075	f:	0.015	hk:	1.41	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0084							H Final:	1.87	m
P-P1	Qi (l/s) :	8.40	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.93	H Inicial	1.87	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	-	hf:	0.18	m
	Qt (l/s) :	8.40			V:	3.64075	f:	0.015	hk:	-	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0084							H Final:	2.05	m
P1-L3	Qi (l/s) :	8.40	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	3.00	H Inicial	2.05	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00	k:	0.456	hf:	0.57	m
	Qt (l/s) :	8.40			V:	3.64	f:	0.015	hk:	0.31	m

Qt (m3/s) :	0.0084							H Final:	2.93	m
-------------	--------	--	--	--	--	--	--	----------	------	---

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.93 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 76

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	3.00	3.91	2.93	0.97684
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 77.

Tabla 77

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 01, con instalación tipo II.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
3.64	0.68

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.30 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y Error Porcentual.

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 78

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 01, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Ítems	Presión	
	P - borde (mca)	Presión Centro de tubería (mca)
Teórico	- 1.82	- 1.79
Experimental	- 2.00	- 2.00
Variación Porcentual (%)	9.80	11.64

4.2.2 Escenario 02

4.2.2.1. Diámetro de 1 pulgada.

Cálculo Hidráulico S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

➤ Caudal : 4.00 L/s

➤ Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$

➤ Factor k : 2.184

Tramo P-P1 :

➤ Caudal : 4.00 L/s

➤ Longitud de tubería : 0.93

➤ Factor k : -

Tramo P1-L3 :

➤ Caudal : 4.00 L/s

➤ Longitud de tubería : 2.50

➤ Factor k : 0.524

Tabla 79

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):		L(m):		H Inicial		
S-P	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	3.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.184	hf:	0.16	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	0.33	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	2.91	m
P-P1	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.93	H Inicial	2.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	2.96	m
P1-L3	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	2.50	H Inicial	2.96	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.524	hf:	0.12	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73	f:	0.017	hk:	0.08	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	3.16	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 3.16 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 80

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H-h_f-h_k$ (m)
		ΔH	$h_{f_{S-L3}} + h_{k_{S-L3}}$	
Bajante Principal	2.500	3.41	3.16	0.25
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 81.

Tabla 81

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 02, con instalación tipo II.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
1.73	0.15

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.09 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y error porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 82

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Ítems	Presión	
	P - borde (mca)	Presión Centro de tubería (mca)
Teórico	- 2.41	- 2.38
Experimental	- 2.76	-2.76
Variación Porcentual (%)	14.66	16.11

4.2.2.2. Diámetro de 1 1/2 pulgadas.

Cálculo Hidráulico S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 7.00 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.110

Tramo P-P1 :

- Caudal : 7.00 L/s
- Longitud de tubería : 0.93
- Factor k : -

Tramo P1-L3 :

- Caudal : 7.00 L/s
- Longitud de tubería : 2.50
- Factor k : 0.472

Tabla 83

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):	A(m2):	V:	L(m):	k:	f:	H Inicial
S-P1	Qi (l/s) :	7.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	3.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.110	hf:	0.44	m
	Qt (l/s) :	7.00			V:	3.03396	f:	0.016	hk:	0.99	m
	Qt (m3/s) :	0.0070							H Final:	1.97	m
P-P1	Qi (l/s) :	7.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.93	H Inicial	1.97	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.13	m
	Qt (l/s) :	7.00			V:	3.03396	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0070							H Final:	2.10	m
P1-L3	Qi (l/s) :	7.00	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	2.50	H Inicial	2.10	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	0.472	hf:	0.34	m
	Qt (l/s) :	7.00			V:	3.03	f:	0.016	hk:	0.22	m
	Qt (m3/s) :	0.0070							H Final:	2.66	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.66 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 84

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H-h_f-h_k$ (m)
		ΔH	$h_{f_{S-L3}}+h_{k_{S-L3}}$	
Bajante Principal	2.500	3.41	2.66	0.75
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 85.

Tabla 85

Valores obtenidos de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 02, con instalación tipo II.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
3.03	0.47

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.28 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Error porcentual de presión

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va a aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y

experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 86

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Ítems	Presión	
	P – borde (mca)	Presión Centro de tubería (mca)
Teórico	- 1.66	- 1.63
Experimental	- 1.73	- 1.73
Variación Porcentual (%)	4.13	6.04

4.2.2.3 Diámetro de 2 pulgadas.

Confluencia en el punto S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 7.40 L/s
- Longitud de tubería : 0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27
- Factor k : 2.104.
-

Tramo P-P1 :

- Caudal : 7.40 L/s
- Longitud de tubería : 0.93
- Factor k : -

Tramo P1-L3 :

- Caudal : 7.40 L/s
- Longitud de tubería : 2.50
- Factor k : 0.467

Tabla 87

Desarrollo de cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):	A(m ²):	V:	L(m):	k:	f:	H Inicial
S-P	Qi (l/s) :	7.40	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	3.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	2.104	hf:	0.49	m
	Qt (l/s) :	7.40			V:	3.20733	f:	0.016	hk:	1.10	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0074							H Final:	1.81	m
P-P1	Qi (l/s) :	7.40	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.93	H Inicial	1.81	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	-	hf:	0.14	m
	Qt (l/s) :	7.40			V:	3.20733	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0074							H Final:	1.95	m
P1-L3	Qi (l/s) :	7.40	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	2.50	H Inicial	1.95	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00	k:	0.467	hf:	0.38	m
	Qt (l/s) :	7.40			V:	3.21	f:	0.016	hk:	0.24	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0074							H Final:	2.57	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.57 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 88

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 02, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	2.500	3.41	2.57	0.83
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 89.

Tabla 89

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 02, con instalación tipo II.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
3.21	0.52

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.31 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Error porcentual de presión

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va a aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 90

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 05, para el sistema tipo II.

Ítems	Presión	
	P –borde(mca)	Presión Centro de tubería(mca)
Descripción		
Teórico	- 1.43	-1.40
Experimental	-1.38	- 1.38
Variación Porcentual (%)	3.49	1.42

4.2.3 Escenario 03

4.2.3.1 Diámetro de 1 pulgada.

Confluencia en el punto S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P:

➤ Caudal : 4.00 L/s

➤ Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$

➤ Factor k : 2.184

Tramo P-P1 :

➤ Caudal : 4.00 L/s

➤ Longitud de tubería : 0.93

➤ Factor k : -

Tramo P1-L3 :

➤ Caudal : 4.00 L/s

➤ Longitud de tubería : 2.00

➤ Factor k : 0.524

Tabla 91

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):	A(m ²):	V:	L(m):	k:	f:	H Inicial
S-P	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	2.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	2.184	hf:	0.16	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	0.33	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0040							H Final:	2.41	m
P-P1	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.93	H Inicial	2.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	-	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0040							H Final:	2.46	m
P1-L3	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	2.00	H Inicial	2.46	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	0.524	hf:	0.10	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73	f:	0.017	hk:	0.08	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0040							H Final:	2.63	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.63 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 92

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - h_f - h_k$ (m)
		ΔH	$h_{f_{S-L3}} +$ $h_{k_{S-L3}}$	
Bajante Principal	2.00	2.91	2.63	0.27
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 93.

Tabla 93

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 03, con instalación tipo II.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
1.73	0.15

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.12 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Error porcentual de presión

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y

experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 94

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Ítems	Presión	
	P – borde(mca)	Presión Centro de tubería(mca)
Teórico	- 1.88	- 1.85
Experimental	- 2.07	- 2.07
Variación Porcentual (%)	9.97	11.75

4.2.3.2 Diámetro de 1 1/2 pulgadass.

Confluencia en el punto S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 6.21 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.125

Tramo P-P1 :

- Caudal : 6.21 L/s

➤ Longitud de tubería : 0.93

➤ Factor k : -

Tramo P1-L3 :

➤ Caudal : 6.21 L/s

➤ Longitud de tubería : 2.00

➤ Factor k : 0.482

Tabla 95

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m)		L(m)		H Inicial		
S1-P1	Qi (l/s) :	6.21	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	2.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.125	hf:	0.36	m
	Qt (l/s) :	6.21			V:	2.69155	f:	0.016	hk:	0.78	m
	Qt (m3/s) :	0.0062							H Final:	1.76	m
P-P1	Qi (l/s) :	6.21	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.93	H Inicial	1.76	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.10	m
	Qt (l/s) :	6.21			V:	2.69155	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0062							H Final:	1.86	m
P1-L	Qi (l/s) :	6.21	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	2.00	H Inicial	1.86	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	0.482	hf:	0.22	m
	Qt (l/s) :	6.21			V:	2.69	f:	0.016	hk:	0.18	m
	Qt (m3/s) :	0.0062							H Final:	2.26	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.26 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 96

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	2.00	2.91	2.26	0.64
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 97.

Tabla 97

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgada en el escenario 03, con instalación tipo II.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
2.69	0.37

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.27 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y error porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y

experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 98

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Ítems	Presión	
	P – borde (mca)	Presión Centro de tubería (mca)
Teórico	-1.33	- 1.30
Experimental	- 1.38	- 1.38
Variación Porcentual (%)	3.83	6.23

4.2.3.3 Diámetro de 2 pulgadas.

Confluencia en el punto S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P:

- Caudal : 7.29 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.105

Tramo P-P1:

- Caudal : 7.29 L/s
- Longitud de tubería : 0.93
- Factor k :-

Tramo P1-L3:

- Caudal : 7.29 L/s
- Longitud de tubería : 2
- Factor k : 0.468

Tabla 99

Desarrollo de cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
S-P	Qi (l/s) :	7.29	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	2.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	2.105	hf:	0.48	m
	Qt (l/s) :	7.29			V:	3.15965	f:	0.016	hk:	1.07	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0073							H Final:	1.36	m
P-P1	Qi (l/s) :	7.29	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.93	H Inicial	1.36	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	-	hf:	0.14	m
	Qt (l/s) :	7.29			V:	3.15965	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0073							H Final:	1.49	m
P1-L3	Qi (l/s) :	7.29	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	2.00	H Inicial	1.49	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	0.468	hf:	0.29	m
	Qt (l/s) :	7.29			V:	3.16	f:	0.016	hk:	0.24	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0073							H Final:	2.02	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.02 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 100

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 03, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} +$ hk_{S-L3}	
Bajante Principal	2.00	2.91	2.02	0.88
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 101.

Tabla 101

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 03, con instalación tipo II.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
3.16	0.51

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.37 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y error porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro

de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 102

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 03, con instalación tipo II.

Ítems	Presión	
	P – borde (mca)	Presión Centro de tubería (mca)
Teórico	- 1.10	- 1.07
Experimental	- 1.04	-1.04
Variación Porcentual (%)	5.07	2.39

4.2.4 Escenario 04

4.2.4.1 Diámetro de 1 pulgada.

Confluencia en el punto S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P:

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : 0.35 + 0.425 +2.33+0.16 =3.27
- Factor k : 2.184

Tramo P-P1 :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : 0.93
- Factor k : -

Tramo P1-L3 :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : 1
- Factor k : 0.524

Tabla 103

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):	A(m ²):	V:	L(m):	k:	f:	H Inicial
S-P	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	2.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	2.184	hf:	0.16	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	0.33	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0040							H Final:	1.91	m
P-P1	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.93	H Inicial	1.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	-	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0040							H Final:	1.96	m
P1-L3	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	1.00	H Inicial	1.96	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	0.524	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73	f:	0.017	hk:	0.08	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0040							H Final:	2.08	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.11 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 104

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	1.500	2.41	2.08	0.32
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 105.

Tabla 105

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 04, con instalación tipo II.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
1.73	0.15

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.17 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y Error Porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 106

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

ítems	Presión	
Descripción	P – borde (mca)	Presión Centro de tubería(mca)
Teórico	- 1.33	- 1.30
Experimental	-1.31	- 1.31
Variación Porcentual (%)	1.72	0.54

4.2.4.2 Diámetro de 1 1/2 pulgadass.

Confluencia en el punto S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 6.90 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$

➤ Factor k : 2.112

Tramo P-P1 :

➤ Caudal : 6.90 L/s

➤ Longitud de tubería : 0.93

➤ Factor k : -

Tramo P1-L3 :

➤ Caudal : 6.90 L/s

➤ Longitud de tubería : 1.50

➤ Factor k : 0.473

Tabla 107

Desarrollo de cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):	A(m ²):	V:	L(m):	k:	f:	H Inicial
S-P	Qi (l/s) :	6.90	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	2.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	2.112	hf:	0.43	m
	Qt (l/s) :	6.90			V:	2.99062	f:	0.016	hk:	0.96	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0069							H Final:	1.01	m
P-P1	Qi (l/s) :	6.90	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.93	H Inicial	1.01	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	-	hf:	0.12	m
	Qt (l/s) :	6.90			V:	2.99062	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0069							H Final:	1.13	m
P1-L3	Qi (l/s) :	6.90	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	1.50	H Inicial	1.13	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	0.473	hf:	0.20	m
	Qt (l/s) :	6.90			V:	2.99	f:	0.016	hk:	0.22	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0069							H Final:	1.55	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 1.55 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 108

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	1.500	2.41	1.55	0.86
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 109.

Tabla 109

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgada en el escenario 04, con instalación tipo II.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
2.99	0.46

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.40 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y error porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro

de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 110

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Ítems	Presión	
	Presión– borde(mca)	Presión Centro de tubería(mca)
Teórico	- 0.67	-0.64
Experimental	-0.69	- 0.69
Variación Porcentual (%)	3.71	8.60

4.2.4.3 Diámetro de 2 pulgadas.

Confluencia en el punto S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 7.00 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.110

Tramo P-P1 :

- Caudal : 7.00 L/s
- Longitud de tubería : 0.77
- Factor k : -

Tramo P1-L3 :

- Caudal : 7.00 L/s
- Longitud de tubería : 1.50
- Factor k : 0.472

Tabla 111

Desarrollo de cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):		L(m):		H Inicial		
S-P	Qi (l/s) :	7.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	2.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.110	hf:	0.44	m
	Qt (l/s) :	7.00			V:	3.03396	f:	0.016	hk:	0.99	m
	Qt (m3/s) :	0.0070							H Final:	0.97	m
P-P1	Qi (l/s) :	7.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.93	H Inicial	0.97	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.13	m
	Qt (l/s) :	7.00			V:	3.03396	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0070							H Final:	1.10	m
P1-L3	Qi (l/s) :	7.00	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	1.50	H Inicial	1.10	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.472	hf:	0.20	m
	Qt (l/s) :	7.00			V:	3.03	f:	0.016	hk:	0.22	m
	Qt (m3/s) :	0.0070							H Final:	1.52	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.00 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 112

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H-h_f-h_k$ (m)
		ΔH	$h_{f_{S-L3}}+h_{k_{S-L3}}$	
Bajante Principal	1.500	2.41	1.52	0.88
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 113.

Tabla 113

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 04, con instalación tipo II.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
3.03	0.47

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.41 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y error porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 114

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 04, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

ítems	Presión	
	P – borde(mca)	Presión Centro de tubería(mca)
Teórico	- 0.66	-0.63
Experimental	-0.62	- 0.62
Variación Porcentual (%)	6.26	1.81

4.2.5 Escenario 05

4.2.5.1 Diámetro de 1 pulgada.

Confluencia en el punto S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.105

Tramo P-P1 :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : 0.93

➤ Factor k : -

Tramo P1-L3 :

➤ Caudal : 4.00 L/s

➤ Longitud de tubería : 1.00

➤ Factor k : 0.524

Tabla 115

Cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m)		L(m)		H Inicial		
S-P	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.11	H Inicial	1.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.184	hf:	0.15	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	0.33	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	1.42	m
P-P1	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.93	H Inicial	1.42	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	1.46	m
P1-L3	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	1.00	H Inicial	1.46	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	0.524	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73	f:	0.017	hk:	0.08	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	1.59	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 2.11 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 116

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H-h_f-h_k$ (m)
		ΔH	$h_{f_{S-L3}} +$ $h_{k_{S-L3}}$	
Bajante Principal	1.00	1.91	1.59	0.31
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.16			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 117.

Tabla 117

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 05, con instalación tipo II.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
1.73	0.15

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.17 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y error porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y

experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 118

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 pulgada en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Ítems	Presión	
	Presión – borde (mca)	Presión Centro de tubería (mca)
Teórico	- 0.84	- 0.81
Experimental	- 1.37	-1.37
Variación Porcentual (%)	62.92	68.95

4.2.5.2 Diámetro de 1 1/2 pulgadas.

Confluencia en el punto S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 4.00 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.184

Tramo P-P1 :

- Caudal : 4.00 L/s

➤ Longitud de tubería : 0.93

➤ Factor k : -

Tramo P1-L3 :

➤ Caudal : 4.00 L/s

➤ Longitud de tubería : 1.00

➤ Factor k : 0.524

Tabla 119

Desarrollo de cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m):		L(m):		H Inicial		
S1-P1	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	1.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	2.184	hf:	0.16	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	0.33	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	1.41	m
P-P1	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.93	H Inicial	1.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	-	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73369	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	1.46	m
P1-L	Qi (l/s) :	4.00	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	1.00	H Inicial	1.46	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00231	k:	0.524	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	4.00			V:	1.73	f:	0.017	hk:	0.08	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	1.58	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 1.59 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 120

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	1.00	1.91	1.58	0.32
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.16			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 121.

Tabla 121

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgada en el escenario 05, con instalación tipo II.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
1.73	0.15

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.17 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y error porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y

experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 122

Comparación del error porcentual entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 1 1/2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Ítems	Presión	
	Presión-borde(mca)	Presión Centro de tubería(mca)
Teórico	- 0.66	- 0.63
Experimental	- 0.69	- 0.69
Variación Porcentual (%)	4.97	9.99

4.2.5.3 Diámetro de 2 pulgadas.

Confluencia en el punto S-L3

En el sistema se desarrolló un cálculo hidráulico con el fin de obtener las presiones teóricas desde el S hasta el punto L3.

Tramo S-P :

- Caudal : 4.30 L/s
- Longitud de tubería : $0.35 + 0.425 + 2.33 + 0.16 = 3.27$
- Factor k : 2.174

Tramo P-P1 :

- Caudal : 4.30 L/s

➤ Longitud de tubería : 0.93

➤ Factor k : -

Tramo P1-L3 :

➤ Caudal : 4.30 L/s

➤ Longitud de tubería : 1.00

➤ Factor k : 0.517

Tabla 123

Desarrollo de cálculo hidráulico S-L3, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

TRAMO	CAUDAL		DIÁMETRO NOMINAL PULG		VALORES CALCULADOS		VALORES INSERTADOS		PÉRDIDA DE CARGA		
					D(m)	A(m ²)	V	L(m)	k	f	H Inicial
S-P	Qi (l/s) :	4.30	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	3.27	H Inicial	1.91	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	2.174	hf:	0.18	m
	Qt (l/s) :	4.30			V:	1.86372	f:	0.017	hk:	0.38	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0043							H Final:	1.34	m
P-P1	Qi (l/s) :	4.30	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	0.93	H Inicial	1.34	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	-	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	4.30			V:	1.86372	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0043							H Final:	1.39	m
P1-L3	Qi (l/s) :	4.30	D	2	D(m):	0.05420	L(m):	1.00	H Inicial	1.39	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	0.00231	k:	0.517	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	4.30			V:	1.86	f:	0.017	hk:	0.09	m
	Qt (m ³ /s) :	0.0043							H Final:	1.54	m

Se ha determinado que la pérdida de carga en el sistema, desde el punto S-L3, es de 1.54 metros. Esta pérdida será verificada mediante la ecuación de equilibrio para garantizar la coherencia de los cálculos.

$$\Delta H - hf_{S-L3} - hk_{S-L3} = \frac{V_{L3}^2}{2g}$$

Tabla 124

Determinación de energía cinética para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Descripción	Altura(m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S-L3} + hk_{S-L3}$	
Bajante Principal	1.00	1.91	1.54	0.37
Bajante Secundaria	0.745			
Sumidero- Nivel de agua	0.160			

Se ha desarrollado el cálculo del segundo término, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla 125.

Tabla 125

Valores obtenidos de energía cinética, para un diámetro sifónico de 2 pulgada en el escenario 05, con instalación tipo II.

Velocidad en la descarga (m/s)	Energía Cinética(m)
1.86	0.18

Al comparar los valores obtenidos de energía cinética, se observa una diferencia de 0.19 m, lo que representa un margen aceptable dentro de los parámetros del sistema.

Presión y error porcentual

Las presiones medidas en el sistema experimental corresponden al borde de la tubería. Sin embargo, para nuestro análisis, es necesario conocer la presión en el centro de la tubería, por ello se va aplicar una corrección restando 0.03 mca a las mediciones obtenidas. Asimismo, se realizó una comparación entre las presiones teóricas y

experimentales, obteniendo un porcentaje aceptable dentro del margen establecido para la investigación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 126

Comparación entre la presión teórica y experimental, para un diámetro sifónico de 2 pulgadas en el escenario 05, correspondiente al sistema de instalación tipo II.

Ítems	Presión	
Descripción	P - bordo (mca)	Presión Centro de tubería(mca)
Teórico	- 0.61	- 0.58
Experimental	- 0.62	- 0.62
Variación Porcentual (%)	1.90	7.19

4.2.6 Escenario 06

En este escenario nunca llega a cebarse.

4.2.7 Comportamiento del tiempo de cebado experimental y calculado

Después de analizar los diferentes escenarios se realizó una comparación del tiempo de cálculo experimental y cálculo teórico para sumideros sifónicos de diámetros 1, 1 1/2 y 2 pulgadas como se visualiza en la siguiente figura. El cual presentan pequeñas variaciones más aún en los diámetros mayores que se encuentran en el rango aceptable para su análisis (ver anexo 4).

Tabla 127

Tiempo de cebado calculado y experimental – tipo 90.

Tipo	H(m)	Diámetro(m)	Caudal(m3/s)	Tiempo de cebado experimental (Segundos)	Volumen tubo lleno(m3)	V/Q	K PROMEDIO	Tiempo de cebado Cálculado (Segundos)
tipo 90	3.00	0.0254	0.003552652	3.605000000	0.014258748	4.013550428	0.944979453	3.792722690
		0.0381	0.013736507	2.748333333	0.014258748	1.038018504	2.721729861	2.825205958
		0.0508	0.008639702	1.913333333	0.014258748	1.650375083	1.143151861	1.886629347
	2.50	0.0254	0.004105973	5.004000000	0.013245334	3.225869952	1.513669208	4.882900014
		0.0381	0.005860814	2.368176630	0.013245334	2.259981738	1.101691820	2.489803395
		0.0508	0.006125643	1.955000000	0.013245334	2.162276341	0.877737709	1.897911481
	2.00	0.0254	0.003641884	6.064000000	0.012231919	3.358678637	1.820803039	6.115492268
		0.0381	0.006336204	2.566666667	0.012231919	1.930480427	1.329752632	2.567061428
		0.0508	0.005748461	2.735000000	0.012231919	2.127859787	1.287157609	2.738890917
	1.50	0.0254	0.003760033	7.939000000	0.011218504	2.983618737	2.660784602	7.938766795
		0.0381	0.005265983	2.938333333	0.011218504	2.130372014	1.234068011	2.629023955
		0.0508	0.006748125	1.775000000	0.011218504	1.662462410	1.318204844	2.191466001
	1.00	0.0254	0.004832992	11.217000000	0.010286162	2.128321549	4.071054442	8.664512898
		0.0381	0.004156062	4.460000000	0.010286162	2.474978010	2.258265955	5.589158580
		0.0508	0.005993236	4.158333333	0.010286162	1.716295146	2.006643560	3.443992603

4.2.8 Análisis del coeficiente K

El coeficiente K es una constante de seguridad que garantiza el diseño adecuado del sistema de drenaje sifónico. Durante la simulación realizada en distintos escenarios con diferentes alturas y diámetros de sumideros sifónicos en in situ, se observó que el volumen en la tubería mantiene relación directamente proporcional al caudal de ingreso. Como resultado se obtuvieron distintos valores de K para diámetros como 1, 1 1/2 y 2 pulgadas.

4.2.9 Análisis del error relativo

El análisis del error relativo se llevó a cabo comparando el tiempo de cebado medido in situ con el tiempo de cebado calculado. Para que los resultados sean aceptables, la diferencia entre ambos valores debe estar dentro de un rango de 5% y 10%, lo cual es considerado adecuado. A continuación, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 128

Error relativo en porcentaje en instalación de tipo de 90.

Tipo	H(m)	Diámetro(m)	Caudal(m3/s)	Tiempo de cebado experimental (Segundos)	Volumen tubo lleno(m3)	V/Q	K PROMEDIO	Tiempo de cebado Cálculado (Segundos)	Error Relativo(%)
tipo 90	3.00	0.0254	0.003552652	3.605000000	0.014258748	4.013550428	0.944979453	3.792722690	5.207286829
		0.0381	0.013736507	2.748333333	0.014258748	1.038018504	2.721729861	2.825205958	2.797063362
		0.0508	0.008639702	1.913333333	0.014258748	1.650375083	1.143151861	1.886629347	1.395678716
	2.50	0.0254	0.004105973	5.004000000	0.013245334	3.225869952	1.513669208	4.882900014	2.420063675
		0.0381	0.005860814	2.368176630	0.013245334	2.259981738	1.101691820	2.489803395	5.135882323
		0.0508	0.006125643	1.955000000	0.013245334	2.162276341	0.877737709	1.897911481	2.920128829
	2.00	0.0254	0.003641884	6.064000000	0.012231919	3.358678637	1.820803039	6.115492268	0.849146895
		0.0381	0.006336204	2.566666667	0.012231919	1.930480427	1.329752632	2.567061428	0.015380311
		0.0508	0.005748461	2.735000000	0.012231919	2.127859787	1.287157609	2.738890917	0.142263884
	1.50	0.0254	0.003760033	7.939000000	0.011218504	2.983618737	2.660784602	7.938766795	0.002937462
		0.0381	0.005265983	2.938333333	0.011218504	2.130372014	1.234068011	2.629023955	10.526694675
		0.0508	0.006748125	1.775000000	0.011218504	1.662462410	1.318204844	2.191466001	23.462873305
1.00	0.0254	0.004832992	11.217000000	0.010286162	2.128321549	4.071054442	8.664512898	22.755523779	
	0.0381	0.004156062	4.460000000	0.010286162	2.474978010	2.258265955	5.589158580	25.317456940	
	0.0508	0.005993236	4.158333333	0.010286162	1.716295146	2.006643560	3.443992603	17.178534605	

Gráfico 8

Comparación del tiempo de cebado experimental y calculado con el error relativo – tipo 90.

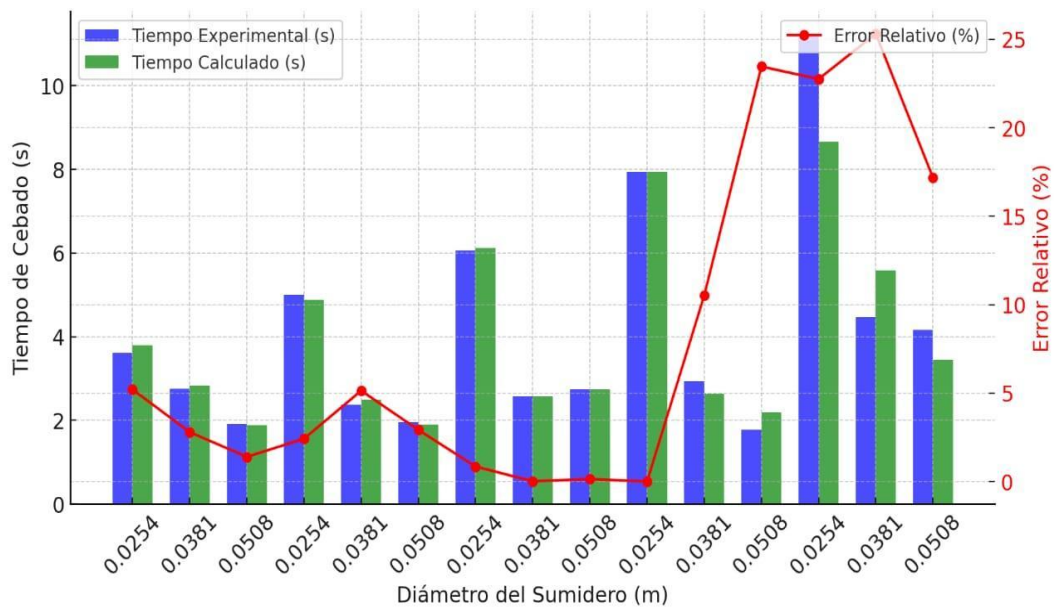


Gráfico 9

Presión experimental y tiempo de cebado- tipo 90.

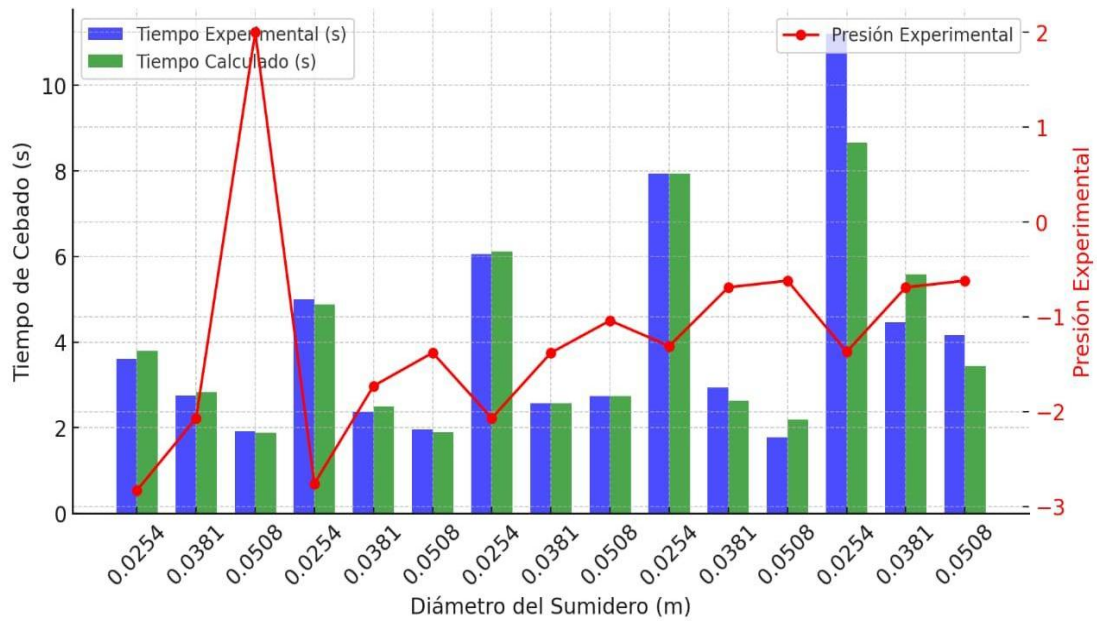


Gráfico 10

Relación entre altura y tiempos de elevado- tipo 90.

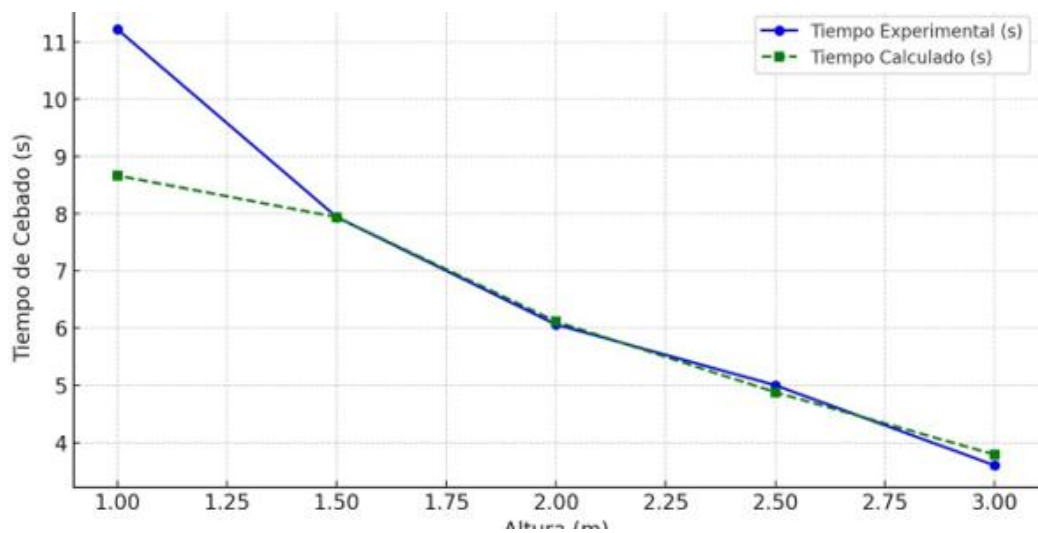
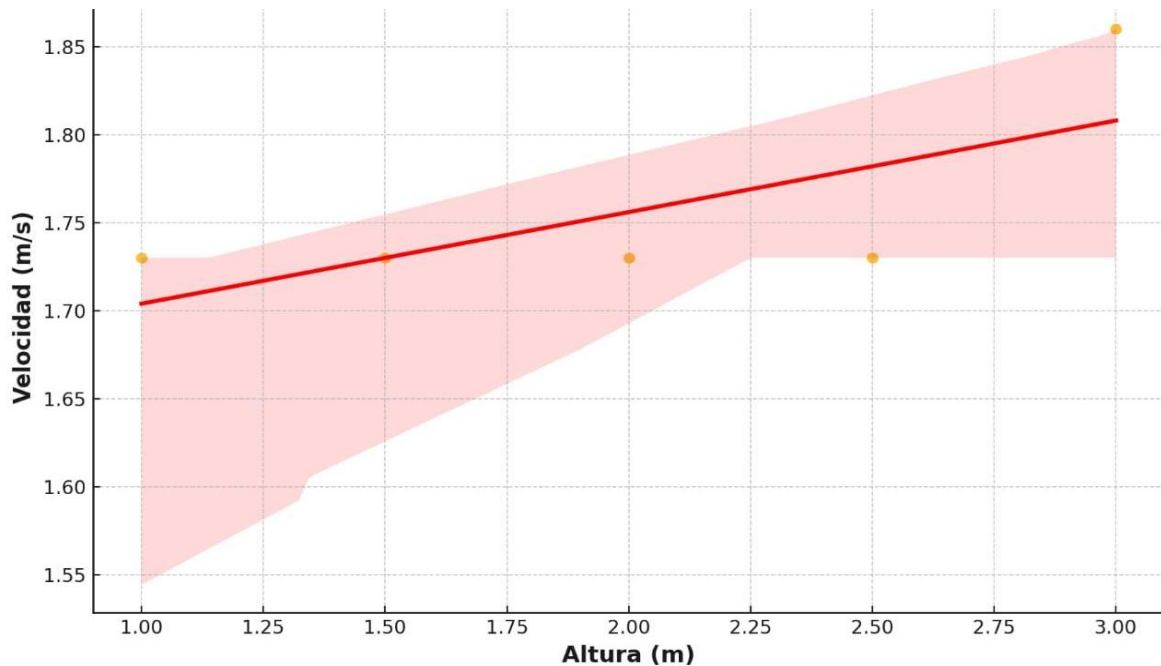


Gráfico 11

Relación entre altura y velocidad –tipo 90.



4.2.10 Comparación general entre todos los diámetros 1, 1 1/2 y 2 pulgadas

4.2.10.1 Comparación del tiempo de cebado Promedio.

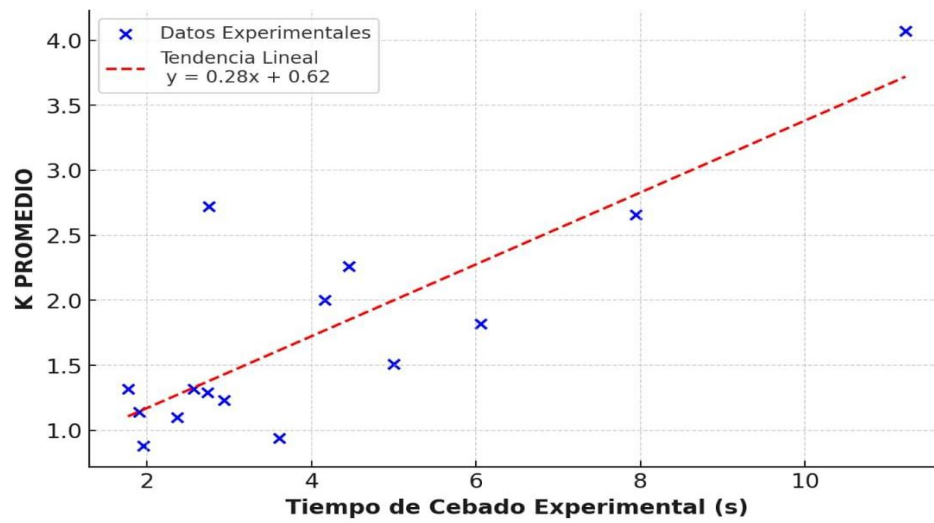
En esta comparación se ha considerado que el ingreso al sumidero sifónico debe presentar tubería llena. Asimismo, a la salida de descarga final del sistema, por ello se han tomado en cuenta las longitudes de la bajante secundaria, horizontal y bajante principal con el objetivo de determinar el tiempo de cebado del sistema.

4.2.10.2 Comparación del coeficiente K.

El coeficiente K es una constante que garantiza el diseño adecuado del tiempo de cebado en el sistema de ingeniería. Para ello, se ha incorporado una constante de seguridad, considerando los parámetros de caudal de ingreso, volumen del sistema y tiempo de cebado del sistema y tiempo de cebado del sistema.

Gráfico 12

K promedio respecto al tiempo de cebado experimenta – tipo 90.

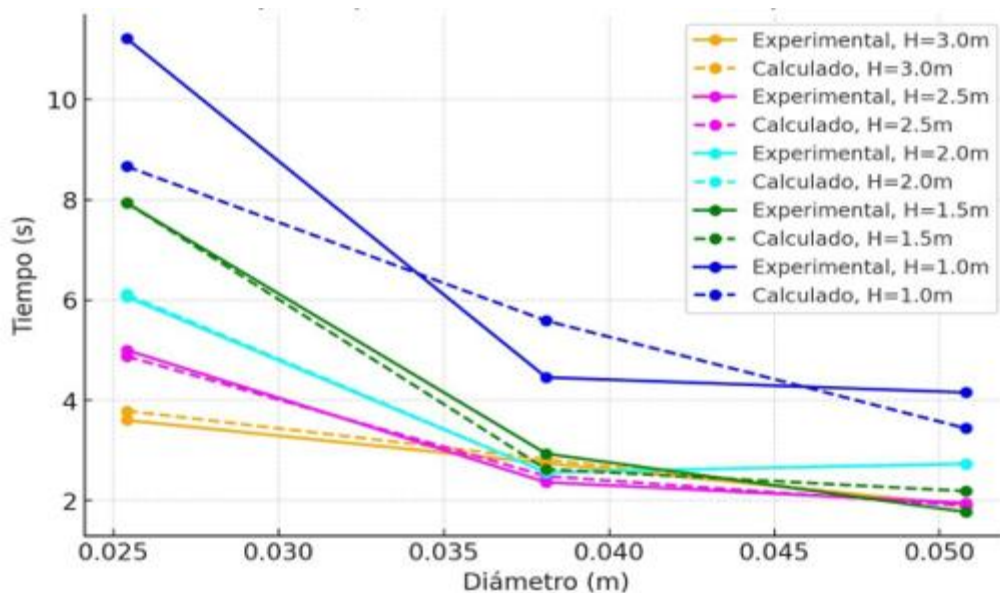


4.2.11 Análisis de tendencia

4.2.11.1. Gráfica de tendencia.

Gráfico 13

Tendencia de tiempos experimentales vs calculados para diferentes alturas – tipo 90.



4.2.12 Desarrollo de la fórmula general para el tiempo de cebado

Para establecer la fórmula general del tiempo de cebado, se determinó que este depende directamente del caudal y del volumen de ingreso, de acuerdo con los análisis realizados. Además, se incorporó un factor de seguridad representado por el parámetro, calculado como el promedio de los valores obtenidos en los diferentes escenarios experimentales simulados.

Con el objetivo de garantizar la confiabilidad del modelo propuesto, se evaluó la desviación estándar de K, lo que permitió validar su consistencia y su aplicabilidad en el ámbito de la ingeniería.

A continuación, se presenta el desarrollo técnico del análisis realizado.

$$\text{Promedio} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n}$$

$$\text{Promedio} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + \dots + k_{15}}{15}$$

$$\text{Promedio} = 1.752646307$$

$$\text{Desviación estándar } (\partial) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (K_i - \text{Promedio})^2}{n-1}}$$

K_i: Elemento de k

∂: Desviación estándar

Promedio: K

n: Número total de datos

Desviación estándar (∂)

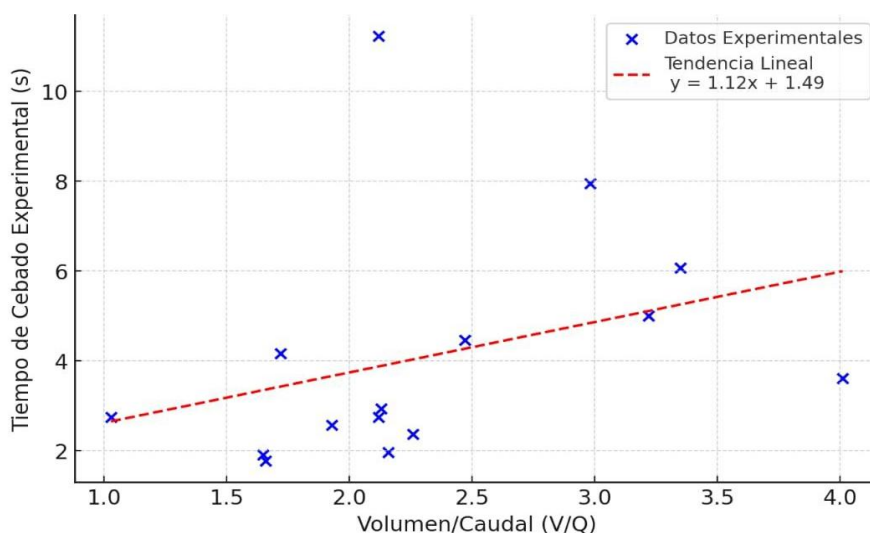
$$\delta=0.869604724$$

Se observa una variabilidad significativa, aproximadamente 49.62% de la media, lo que indica una dispersión moderada-alta. A pesar de este nivel de dispersión, los valores obtenidos son aceptables y pueden utilizarse de manera confiable como un factor de seguridad en la fórmula propuesta.

4.2.13 Análisis de la relación V/Q y el tiempo de cebado

Gráfico 14

Relación entre volumen/caudal y tiempo de cebado experimental (Tipo 90).



4.2.14 Propuesta de la fórmula General para el tiempo de cebado

El tiempo de cebado en un sistema de drenaje sifónico es un parámetro crítico para garantizar su funcionamiento a tubo lleno, lo cual requiere que el sistema purgue el aire en un tiempo muy reducido. Este tiempo se formula en función de los parámetros clave, como el volumen del colector, la bajante principal y el caudal de ingreso proveniente de la tubería de bajante secundaria. La relación generalizada fue obtenida a partir del análisis desarrollado, asegurando su aplicabilidad y consistencia en diversas condiciones.

$$T_f = \frac{1.75V_p}{Q_i}$$

T_f : Tiempo de cebado(s)

V_p : Volumen sistema(m³)

Q_i : Caudal de ingreso en bajante secundaria (m³/s)

4.2.15 Comparación área vs caudal en cobertura de techo

4.2.15.1. Fórmula utilizada.

La relación entre el caudal, intensidad y área servida se calcula de la siguiente manera:

$$A = \frac{Q}{I \times C}, \text{ donde:}$$

- A: Área servida (m²)
- Q: Caudal máximo (M³/s)
- I: Intensidad de lluvia(m/s)
- C: Coeficiente de escorrentía, valor típico :C=0.8

4.2.15.2. Datos iniciales.

Los diámetros seleccionados para nuestro sistema son de 1, 1.5 y 2 pulgadas. Se consideraron las intensidades de lluvia características de cada región: 38 mm/h para la costa, 100 mm/h para la sierra y 100 mm/h para la selva. Asimismo, se calculó el promedio de los caudales correspondientes a cada diámetro, obteniéndose los siguientes valores:

- para 1", Q=0.00397871 m³/s
- para 1.5", Q=0.00707111 m³/s
- para 2", Q=0.00665103 m³/s

Se adoptó un coeficiente de escorrentía de 0.8, considerando techos impermeables como superficie de diseño.

4.1.15.3 Cálculo de área servida.

Para cada combinación de intensidad de lluvia de y diámetros, sustituimos en la fórmula:

$$A = \frac{Q}{I \times C}$$

- A: Área servida (m²)
- Q: Caudal máximo (m³/s)
- I: Intensidad de lluvia(m/s)
- C: coeficiente de escorrentía, valor típico:C=0.8

Se consideró la intensidad de lluvia.

- Costa: Se considera una intensidad de lluvia en $I=1.05556 \times 10^{-5}$ m/s (38 mm/h) ,este valor se basa en el evento ocurrido durante el fenómeno de El niño en los años 1982-1983, cuando ,según registros del SENAMHI, la ciudad de tumbes presentó una precipitación diaria de 304 mm/día si se distribuye uniformemente durante 8 horas

continuas. Este valor ha sido adoptado como referencia para el diseño de ingeniería de drenaje sifónico.

- Sierra: se adoptó una intensidad de lluvia de $I=2.77778 \times 10^{-5} \text{ m/s}$, de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica de Salud N° 119-MINSA-DGIEM-V.01, específicamente en el ítem 6.2.3.6 drenaje pluvial. La norma indica que si no se conoce la intensidad de lluvia es recomendable considerar 100 mm/h.

- Selva: se considera una intensidad de lluvia $I=2.77778 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ (100 mm/h), de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica de Salud N° 119-MINSA-DGIEM-V.01, específicamente en el ítem 6.2.3.6 drenaje pluvial. La norma indica que si no se conoce la intensidad de lluvia es recomendable considerar 100 mm/h.

Tabla 129

Datos calculados en relación con la intensidad de lluvia en sierra, costa y selva – tipo 90.

Diámetro	Costa (38 mm/h)	Sierra(100 mm/h)	Selva(100 mm/h)
1 pulgada	301.54 m ²	114.59 m ²	114.59 m ²
1 1/2 pulgadas	535.92 m ²	203.65 m ² .	203.65 m ²
2 pulgadas	504.078 m ²	191.55 m ²	191.55 m ²

Conclusiones

- Se determinó que el comportamiento hidráulico en términos de tiempo de cebado, presión y velocidad es prácticamente idéntico entre las instalaciones con codos de 45° y 90°, lo que indica que ambas configuraciones pueden emplearse de manera indistinta sin afectar el desempeño del sistema.
- El tiempo de cebado en el escenario 05, con una altura 1 metro en la bajante principal, se observó que ambos tipos de instalación (45 y 90) lograron el cebado del sistema. A partir de las simulaciones realizadas con sumideros sifónicos de 1, 1 ½ y 2 pulgadas, se determinaron la presión y velocidad, obteniendo un error porcentual entre los valores teóricos y experimentales de:
 - Sumidero de 1 pulgada: tipo 45-41.73% de error velocidad de 1.73 m/s; tipo 90-68.95% de error y velocidad de 1.73m/s.
 - Sumidero de 1 1/2 pulgadas: tipo 45-9.99% de error velocidad de 1.73 m/s; tipo 90-9.99% de error y velocidad de 1.73m/s.
 - Sumidero de 2 pulgada: tipo 45-7.19% de error velocidad de 1.86 m/s; tipo 90-7.19 % de error y velocidad de 1.86m/s
- El tiempo de cebado en ambos tipos de instalación de tipo 45 y tipo 90 en el escenario 06, con una altura de 0.5 metros en la bajante principal, se observó que el sistema no logró cebarse en ninguno de los diámetros evaluados (1, 1 ½ y 2 pulgadas). Esto indica que existe una altura mínima crítica para el correcto funcionamiento del sistema de drenaje sifónico, por debajo de la cual no se genera el efecto del cebado.
- A partir del análisis de la relación del volumen de ingreso del colector y bajante que guarda una relación proporcional al caudal, se estableció un factor de seguridad de 1.50, respectivamente que representa al más representativo de los dos tipos de instalación. Al compararlo con la norma británica BS 8490:2007, que establece un factor de seguridad de 1.20, se concluye que el valor obtenido se encuentra dentro

de un margen de seguridad confiable, lo que permite su aplicación a distintos escenarios dentro del estudio de drenaje sifónico.

- En el presente estudio, se evaluó el desempeño de sumideros sifónico con diámetros 1, 1 ½ y 2 pulgadas, determinando las áreas de captación de agua en cubiertas expuestas a distintos regímenes de precipitación característicos de la selva, costa y sierra el cual se consideró una intensidad de lluvia en la costa de 38 mm/h, 100 mm/h en la sierra y 100 mm/h en la selva. Valores representativos de las condiciones pluviométricas asumidos con fines académicos en estas regiones. Los resultados obtenidos indican que un sumidero sifónico de 1 pulgada es capaz de drenar eficientemente un área de 287.85 m² en la costa, 109.26 m² en la sierra y 109.26 m² en la selva; en el caso de los sumideros de 1 ½ pulgadas, la superficie de cobertura alcanzan 435.86 m² en la costa, 165.63 m² en la sierra y 165.63 m² en la selva. Finalmente, para los sumideros de 2 pulgadas, las áreas de captación estimadas son de 441.84 m² en la costa, 167.90 m² en la sierra y 167.90 m² en la selva.
- Las velocidades en el sistema de drenaje sifónico, en ambos tipos de instalación, oscilaron entre un mínimo 1.73 m/s y un máximo 3.64 m/s. Estos valores difieren de lo establecido en la norma británica. La cual recomienda velocidades de 1 m/s en la bajante secundaria y 2.2 m/s en la bajante principal.

Recomendaciones

- Se recomienda el uso de equipos sistematizados automáticos como caudalímetros de ultrasonidos y transductores de presión, los cuales permiten obtener mediciones exactas de caudal y presión en la simulación de escenarios del sistema de drenaje sifónico.
- Para asegurar un desempeño óptimo del sistema de drenaje sifónico en sumideros 1 ½ y 2 pulgadas, es fundamental incrementar el caudal de ingreso al contenedor. Esto puede lograrse mediante el uso de múltiples bombas y un contenedor de mayor capacidad, lo que permite evaluar con mayor precisión la eficiencia del sistema en distintos escenarios hidráulicos.
- Para futuras investigaciones, se recomienda analizar el tiempo de cebado utilizando una tubería cuyo diámetro sea igual al del sumidero sifónico (1 o 1 ½ pulgadas) en todo el sistema. Asimismo, se sugiere comparar la altura máxima de la bajante principal a partir de la cual el sistema mantiene un comportamiento de drenaje sifónico con flujo a tubería llena.
- Se recomienda el uso de materiales transparentes para facilitar la observación detallada del comportamiento del sistema sifónico durante el análisis.

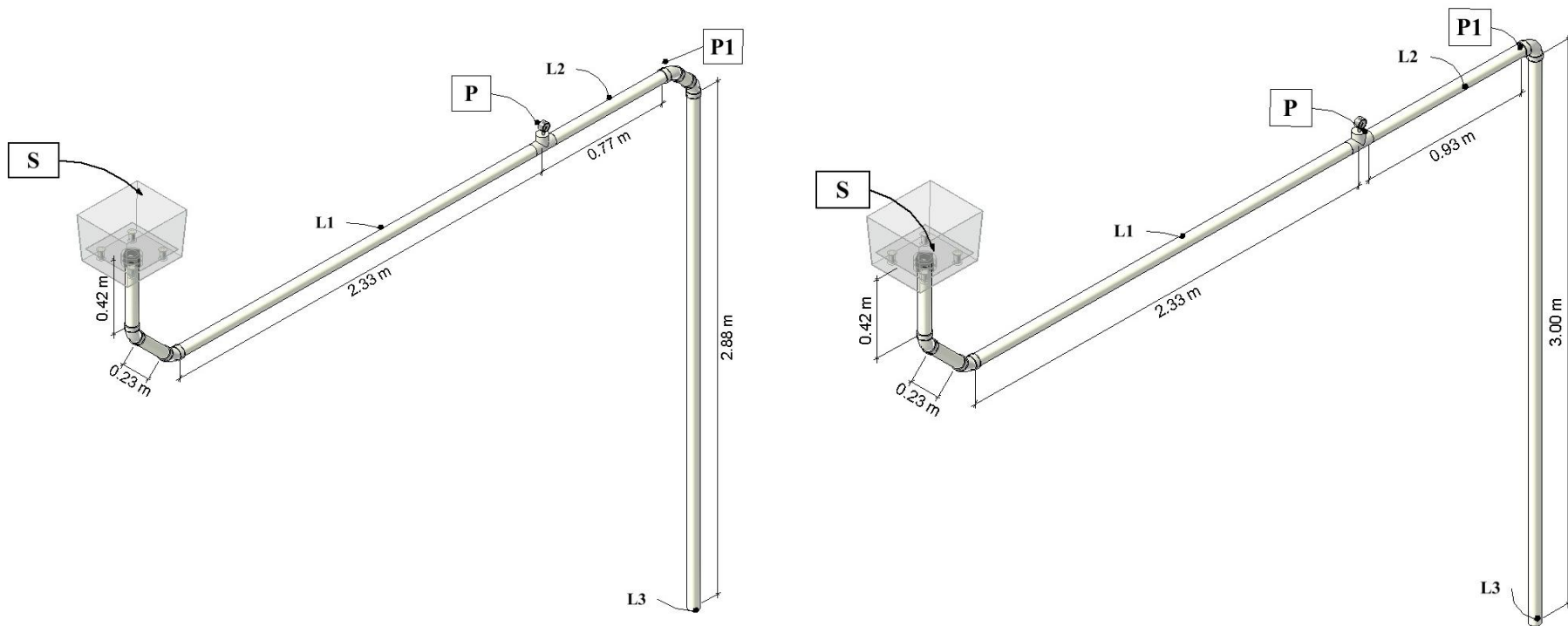
Referencias bibliográficas

- Beattie, R. (2013). El efecto del tiempo y el clima en el funcionamiento del sistema de drenaje de aguas pluviales [Tesis de grado, Heriot-Watt University]. Heriot-Watt University.
- Campbell, D. P. (2013). Investigation of a flow modulation system for siphonic roof drainage systems. *Journal of Water Resource and Protection*, 5(5), 546–554. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2013.55055>
- Crane. (s.f.). Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías (Cap. 4, A-46) [Manual].
- Italsan. (2016). Sistema de drenaje sifónico [Folleto técnico].
- Marquina Asto, R. P. (2022). Estudio del comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje sifónico [Trabajo académico].
- Ministerio de Salud (MINSA). (s.f.). Norma técnica de salud N.° 119-MINSA-DGIEM-V01: ítem 6.2.3.6.
- Ongoren, A., & Materna, R. (2006). Características de flujo multifásico de un sistema de drenaje de techo sifónico en condiciones de carga parcial. En CIB (Actas).
- Scott, A. (2007). El diseño centrado en la imprimación del drenaje sifónico del techo [Informe técnico].
- SENAMHI. (2014). Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicos [Informe].
- Sidek, Y. (2007). Investigación experimental sobre la transición del flujo anular al flujo total en tuberías verticales [Informe técnico].

Anexos

Anexo 1: Presentación de los dos tipos de instalación utilizados: tipo 45 y tipo 90, con variaciones en la altura de las bajantes principales cada 0.50 metros.	1
Anexo 2: Información recopilada en ensayo experimental de ambos tipos 45 y tipo 90 de instalación.....	2
Anexo 3: Datos calculados a partir de la información recopilada durante el ensayo experimental para los sistemas de instalación tipo 45 y tipo 90.	14
Anexo 4: Cálculo del error porcentual entre el tiempo de cebado calculado y experimental para los sistemas de instalación de tipo 45 y tipo 90 de instalación...	32
Anexo 5: Panel fotográfico.....	33

Anexo 1: Presentación de los dos tipos de instalación utilizados: tipo 45 y tipo 90, con variaciones en la altura de las bajantes principales cada 0.50 metros.



Anexo 2: Información recopilada en ensayo experimental de ambos tipos 45 y tipo 90 de instalación.

TIPOS	Altura(m)	Sumidero Sifónico (Pulgada)	ítem	Presión Vacuometro (mca)	Tiempo de llenado Contenedor (segundos)	Medido de Tiempo a tubo Lleno todo el sistema (segundos)	Medido de Tiempo a Salida tubo lleno (segundo)	Medida de tiempo para llenado de balde (segundo)	Pesado (Kg)
TIPO I (45°)	3	1	1	-2.76	21.00	26.66	31.28	1.89	7.79
TIPO I (45°)			2	-2.76	22.02	26.73	31.92	2.44	10.59
TIPO I (45°)			3	-2.76	22.51	28.17	34.72	2.19	11.85
TIPO I (45°)			4	-2.83	22.32	28.86	31.12	2.96	11.72
TIPO I (45°)			5	-2.83	20.01	26.20	29.84	3.36	10.39
TIPO I (45°)			6	-2.83	22.70	29.27	30.94	2.87	12.01

TIPO I (45°)		7	-2.76	20.55	24.28	28.04	2.85	11.07
TIPO I (45°)		8	-2.76	19.52	22.94	26.93	2.71	11.60
TIPO I (45°)		9	-2.76	20.36	23.76	28.35	2.52	11.28
TIPO I (45°)		10	-2.76	20.27	23.09	30.32	2.19	11.38
TIPO I (45°)	1 1/2	1	-1.73	13.38	17.76	19.54	1.95	12.43
TIPO I (45°)		2	-1.73	12.33	16.83	18.53	2.00	12.43
TIPO I (45°)		3	-1.73	13.37	17.69	19.69	2.30	14.90
TIPO I (45°)		4	-1.73	13.49	18.30	19.99	1.50	10.35
TIPO I (45°)		5	-1.73	13.88	19.07	20.81	1.80	11.30
TIPO I (45°)		6	-1.73	12.05	16.84	18.39	1.94	14.03
TIPO I (45°)	2	1	-1.45	13.25	17.98	21.36	1.32	10.78
TIPO I (45°)		2	-1.45	12.62	16.82	18.32	1.56	12.45
TIPO I (45°)		3	-1.45	14.57	18.75	20.51	2.79	18.88
TIPO I (45°)		4	-1.45	10.90	14.92	15.70	2.49	14.31
TIPO I (45°)		5	-1.45	12.59	16.58	17.86	2.76	16.59
TIPO I (45°)		6	-1.45	13.45	17.52	18.30	1.83	10.44

TIPO I (45°)	2.5	1	1	-2.69	21.94	25.71	32.29	2.48	10.05
TIPO I (45°)			2	-2.42	17.42	21.35	26.12	3.53	14.71
TIPO I (45°)			3	-2.42	17.46	21.02	26.73	3.60	13.17
TIPO I (45°)			4	-2.42	17.40	20.79	26.30	4.02	14.21
TIPO I (45°)			5	-2.42	18.88	22.40	28.52	2.78	10.59
TIPO I (45°)			6	-2.21	14.41	20.82	28.48	2.46	11.04
TIPO I (45°)			7	-2.42	16.67	19.93	27.92	3.28	12.90
TIPO I (45°)			8	-2.35	17.25	22.91	26.89	3.29	12.92
TIPO I (45°)			9	-2.42	17.58	20.98	26.62	3.90	14.96
TIPO I (45°)			10	-2.69	16.58	22.58	28.92	2.72	11.24
TIPO I (45°)		1 1/2	1	-1.45	13.06	18.71	20.20	1.50	10.01
TIPO I (45°)			2	-1.45	12.50	17.36	19.35	1.48	10.81
TIPO I (45°)			3	-1.45	13.32	18.79	20.34	2.37	14.34
TIPO I (45°)			4	-1.45	13.45	18.89	20.39	2.66	15.35
TIPO I (45°)			5	-1.45	13.01	17.85	19.70	2.97	17.65
TIPO I (45°)			6	-1.45	12.49	17.60	18.97	2.29	11.95

TIPO I (45°)			1	-1.38	14.24	18.79	19.99	1.85	11.24
TIPO I (45°)			2	-1.38	14.37	18.19	19.09	1.49	10.28
TIPO I (45°)			3	-1.38	13.64	18.37	19.71	2.45	12.74
TIPO I (45°)			4	-1.38	13.98	17.93	19.48	1.25	6.89
TIPO I (45°)			5	-1.38	13.30	17.66	18.90	1.11	7.44
TIPO I (45°)			6	-1.38	13.20	16.96	18.50	2.14	14.44
TIPO I (45°)		2	1	-2.07	17.41	21.65	27.83	2.63	9.82
TIPO I (45°)			2	-2.07	16.13	21.12	27.32	2.59	10.65
TIPO I (45°)			3	-2.07	17.42	22.06	28.81	2.96	10.59
TIPO I (45°)			4	-2.07	18.23	21.26	27.21	2.99	11.04
TIPO I (45°)			5	-2.07	17.51	22.23	28.79	3.26	11.89
TIPO I (45°)	2	1	6	-2.07	17.64	22.75	28.84	3.03	11.58
TIPO I (45°)			7	-2.07	18.49	22.25	28.39	3.48	12.83
TIPO I (45°)			8	-2.07	18.10	22.32	28.93	4.13	13.32
TIPO I (45°)			9	-2.07	17.32	23.07	28.40	2.78	9.78
TIPO I (45°)			10	-2.07	16.94	23.12	28.88	2.90	11.74

TIPO I (45°)		1 1/2	1	-1.38	14.38	19.54	20.75	2.43	11.94
TIPO I (45°)			2	-1.38	13.41	18.09	21.01	1.92	11.76
TIPO I (45°)			3	-1.38	13.87	18.97	21.64	2.01	12.09
TIPO I (45°)			4	-1.38	13.04	17.19	20.77	2.35	10.43
TIPO I (45°)			5	-1.38	13.80	18.68	21.70	1.67	9.98
TIPO I (45°)			6	-1.38	13.06	17.24	19.52	1.54	9.06
TIPO I (45°)		2	1	-1.04	14.01	18.07	19.79	1.37	10.83
TIPO I (45°)			2	-1.04	13.20	16.80	18.31	1.74	12.04
TIPO I (45°)			3	-1.04	13.05	17.38	19.16	1.84	11.23
TIPO I (45°)			4	-1.04	13.38	17.49	20.25	1.86	12.02
TIPO I (45°)			5	-1.04	14.44	18.75	20.51	1.84	12.33
TIPO I (45°)			6	-1.04	13.32	17.48	19.18	1.38	9.99
TIPO I (45°)	1.5	1	1	-1.38	17.17	21.29	30.01	2.34	7.81
TIPO I (45°)			2	-1.38	17.91	21.63	28.89	3.39	11.48
TIPO I (45°)			3	-1.38	16.73	22.18	28.68	3.67	13.28
TIPO I (45°)			4	-1.38	17.06	22.29	28.92	2.88	10.75

TIPO I (45°)		5	-1.38	16.78	21.20	29.03	3.14	10.11
TIPO I (45°)		6	-1.38	17.06	21.73	30.10	3.15	11.43
TIPO I (45°)		7	-1.38	17.77	21.67	28.92	2.80	11.42
TIPO I (45°)		8	-1.38	16.71	21.67	27.97	3.56	12.59
TIPO I (45°)		9	-1.38	16.49	21.51	29.19	4.45	11.83
TIPO I (45°)		10	-1.38	17.09	21.95	28.87	3.80	13.39
TIPO I (45°)	1 1/2	1	-0.69	13.07	17.67	20.62	2.63	14.13
TIPO I (45°)		2	-0.69	13.26	17.98	20.67	2.26	14.14
TIPO I (45°)		3	-0.69	12.72	17.42	20.06	2.66	15.03
TIPO I (45°)		4	-0.69	12.83	17.75	20.41	2.92	14.92
TIPO I (45°)		5	-0.69	13.04	18.18	22.17	2.24	12.53
TIPO I (45°)		6	-0.69	12.78	17.59	20.29	2.86	14.78
TIPO I (45°)	2	1	-0.62	13.51	17.45	19.73	2.11	12.72
TIPO I (45°)		2	-0.62	13.19	17.26	18.45	2.16	11.29
TIPO I (45°)		3	-0.62	13.25	16.84	19.25	2.46	12.98
TIPO I (45°)		4	-0.62	13.11	16.71	17.94	2.74	15.68

TIPO I (45°)			5	-0.62	12.96	16.51	17.85	2.51	14.49
TIPO I (45°)			6	-0.62	12.73	16.59	18.79	2.75	15.37
TIPO I (45°)	1	1	1	-1.04	17.71	22.05	33.53	2.64	8.87
TIPO I (45°)			2	-1.04	16.81	21.24	31.68	2.80	9.31
TIPO I (45°)			3	-1.04	17.31	21.97	33.35	2.98	12.12
TIPO I (45°)			4	-1.31	17.92	22.31	33.41	2.35	7.46
TIPO I (45°)			5	-1.04	18.50	22.65	32.76	3.10	9.27
TIPO I (45°)			6	-1.04	16.73	22.16	33.68	1.75	6.76
TIPO I (45°)			7	-1.04	16.60	22.43	33.54	1.99	8.34
TIPO I (45°)			8	-1.31	17.87	22.87	32.57	3.04	9.47
TIPO I (45°)			9	-1.31	17.11	22.77	32.72	2.90	9.45
TIPO I (45°)			10	-1.31	16.94	22.49	32.70	2.32	7.66
TIPO I (45°)	1 1/2	1 1/2	1	-0.69	14.07	18.35	23.70	1.94	9.26
TIPO I (45°)			2	-0.69	12.97	17.99	22.80	1.63	8.06
TIPO I (45°)			3	-0.69	13.50	18.44	23.04	1.70	7.57
TIPO I (45°)			4	-0.69	12.93	18.22	21.77	1.97	9.32

TIPO I (45°)			5	-0.69	14.22	18.76	23.73	1.36	7.17
TIPO I (45°)			6	-0.69	13.32	18.06	21.54	2.10	9.91
TIPO I (45°)		2	1	-0.62	15.58	19.62	23.95	1.93	10.86
TIPO I (45°)			2	-0.62	13.55	17.98	21.45	2.13	12.07
TIPO I (45°)			3	-0.62	13.58	17.65	21.63	2.32	11.23
TIPO I (45°)			4	-0.62	13.17	17.59	21.74	2.33	12.40
TIPO I (45°)			5	-0.62	14.89	19.08	22.40	1.97	12.53
TIPO I (45°)			6	-0.62	13.55	17.72	21.20	2.41	11.66
TIPO II (90°)	3	1	1	-2.83	16.25	19.84	24.12	1.70	9.28
TIPO II (90°)			2	-2.83	19.09	21.39	27.03	1.98	9.08
TIPO II (90°)			3	-2.83	21.55	24.80	25.71	4.11	11.62
TIPO II (90°)			4	-2.83	21.55	24.80	25.71	4.11	10.09
TIPO II (90°)			5	-2.83	19.21	20.76	25.39	4.46	14.40
TIPO II (90°)			6	-2.83	19.48	21.63	24.14	3.43	13.14
TIPO II (90°)			7	-2.83	17.60	20.04	25.04	4.25	13.92
TIPO II (90°)			8	-2.83	18.96	20.72	24.00	4.71	16.19
TIPO II (90°)			9	-2.83	17.31	20.21	24.61	5.25	15.43
TIPO II (90°)			10	-2.83	17.40	20.43	24.92	4.86	16.24
TIPO II (90°)		1 1/2	1	-2.07	12.19	16.63	19.52	1.30	12.38
TIPO II (90°)			2	-2.07	13.43	18.48	20.94	1.46	13.82
TIPO II (90°)			3	-2.07	12.31	16.90	20.59	0.95	12.21
TIPO II (90°)			4	-2.07	12.64	17.40	19.39	1.79	14.65

TIPO II (90°)		2	5	-2.07	12.25	17.09	19.73	1.91	12.95
TIPO II (90°)			6	-2.07	12.04	17.18	20.00	0.44	15.52
TIPO II (90°)			1	-2.00	13.52	17.79	19.92	1.93	12.22
TIPO II (90°)			2	-2.00	12.80	17.60	19.87	1.17	14.17
TIPO II (90°)			3	-2.00	13.12	18.08	19.55	0.78	10.81
TIPO II (90°)			4	-2.00	12.71	17.06	18.89	1.63	12.83
TIPO II (90°)		5	-2.00	13.07	17.73	19.63	2.13	11.90	
TIPO II (90°)		6	-2.00	12.75	17.16	19.04	2.36	13.84	
TIPO II (90°)		1	1	-2.76	18.17	22.44	24.15	2.05	8.51
TIPO II (90°)			2	-2.76	17.63	21.85	23.77	1.68	10.23
TIPO II (90°)			3	-2.76	19.42	23.90	28.14	3.61	12.45
TIPO II (90°)			4	-2.76	24.19	28.03	31.57	3.31	12.30
TIPO II (90°)			5	-2.76	21.73	24.65	33.86	3.45	15.89
TIPO II (90°)			6	-2.76	16.92	21.08	28.03	4.32	16.33
TIPO II (90°)			7	-2.76	17.70	23.81	26.76	1.80	7.50
TIPO II (90°)			8	-2.76	17.79	22.06	28.20	2.96	10.83
TIPO II (90°)			9	-2.76	16.85	22.03	27.78	2.66	8.30
TIPO II (90°)			10	-2.76	16.58	20.78	28.41	2.28	9.48
TIPO II (90°)	1 1/2	1	-1.73	13.23	19.17	22.20	2.17	17.06	
TIPO II (90°)		2	-1.73	13.91	20.50	22.15	1.79	7.70	
TIPO II (90°)		3	-1.73	14.81	19.93	21.84	1.70	10.21	
TIPO II (90°)		4	-1.73	12.77	17.81	20.13	1.81	11.00	
TIPO II (90°)		5	-1.73	14.99	20.84	25.05	3.36	14.51	
TIPO II (90°)		6	-1.73	13.98	19.10	21.04	1.87	12.07	
TIPO II (90°)	2	1	-1.38	13.06	17.44	19.39	2.09	13.01	
TIPO II (90°)		2	-1.38	13.72	17.67	19.10	2.13	13.82	
TIPO II (90°)		3	-1.38	13.72	17.89	20.61	2.58	13.50	
TIPO II (90°)		4	-1.38	13.72	17.89	20.61	2.58	13.52	
TIPO II (90°)		5	-1.38	13.35	18.72	19.95	2.21	14.67	

TIPO II (90°)			6	-1.38	13.04	17.17	18.85	2.05	13.87
TIPO II (90°)	2	1	1	-2.07	17.38	21.25	22.77	3.21	10.92
TIPO II (90°)			2	-2.07	17.04	20.63	28.24	2.32	8.20
TIPO II (90°)			3	-2.07	16.92	21.92	29.20	2.68	9.20
TIPO II (90°)			4	-2.07	17.51	21.82	27.74	3.27	11.81
TIPO II (90°)			5	-2.07	17.25	21.70	28.72	2.83	11.14
TIPO II (90°)			6	-2.07	18.98	22.21	27.67	3.82	12.13
TIPO II (90°)			7	-2.07	17.06	21.13	28.53	3.32	14.06
TIPO II (90°)			8	-2.07	18.62	22.24	29.30	4.11	14.05
TIPO II (90°)			9	-2.07	17.33	23.66	29.75	2.66	10.51
TIPO II (90°)			10	-2.07	17.81	22.41	27.69	4.17	14.90
TIPO II (90°)		1 1/2	1	-1.38	13.22	18.61	20.55	2.14	12.63
TIPO II (90°)			2	-1.38	12.36	17.28	20.24	2.03	10.68
TIPO II (90°)			3	-1.38	13.00	17.99	20.67	1.06	12.69
TIPO II (90°)			4	-1.38	13.52	18.17	20.40	2.31	11.27
TIPO II (90°)			5	-1.38	13.61	18.48	20.63	2.29	11.84
TIPO II (90°)			6	-1.38	12.31	17.37	20.81	1.53	7.16
TIPO II (90°)		2	1	-1.04	13.04	17.14	20.96	1.88	11.65
TIPO II (90°)			2	-1.04	14.96	19.40	23.02	2.18	11.88
TIPO II (90°)			3	-1.04	14.14	18.62	21.47	2.24	12.71
TIPO II (90°)			4	-1.04	13.89	18.51	20.75	2.27	9.30
TIPO II (90°)	5		-1.04	13.50	17.49	19.72	1.76	12.12	
TIPO II (90°)	6		-1.04	13.95	18.51	20.16	1.71	10.34	
TIPO II (90°)	1.5	1	1	-1.38	18.00	21.32	29.26	2.69	9.04
TIPO II (90°)			2	-1.38	18.01	22.75	30.16	2.74	10.35
TIPO II (90°)			3	-1.38	17.75	21.88	30.27	2.44	9.19
TIPO II (90°)			4	-1.38	17.33	22.02	30.80	2.46	9.72
TIPO II (90°)			5	-1.38	16.74	22.40	30.53	2.39	9.07
TIPO II (90°)			6	-1.38	16.91	23.46	30.21	2.53	10.16

TIPO II (90°)			7	-1.38	18.07	22.19	29.78	2.87	9.64
TIPO II (90°)			8	-1.38	17.06	21.42	29.49	2.25	9.37
TIPO II (90°)			9	-1.38	17.34	21.41	29.73	2.64	9.60
TIPO II (90°)			10	-1.38	17.45	21.97	29.98	3.03	10.99
TIPO II (90°)		1 1/2	1	-0.69	12.30	19.20	22.05	1.63	8.59
TIPO II (90°)			2	-0.69	13.32	17.62	20.64	1.70	10.43
TIPO II (90°)			3	-0.69	13.00	19.16	23.09	4.74	10.03
TIPO II (90°)			4	-0.69	11.85	17.50	19.59	1.65	9.57
TIPO II (90°)			5	-0.69	11.91	17.87	20.28	1.92	12.03
TIPO II (90°)			6	-0.69	13.05	17.91	20.23	1.82	10.71
TIPO II (90°)		2	1	-0.62	13.59	19.52	21.12	1.00	11.05
TIPO II (90°)			2	-0.62	12.65	17.59	19.65	1.82	12.12
TIPO II (90°)			3	-0.62	11.96	16.44	19.39	2.10	13.69
TIPO II (90°)			4	-0.62	12.81	18.35	20.86	2.06	12.84
TIPO II (90°)			5	-0.62	12.74	17.13	19.43	3.62	14.36
TIPO II (90°)			6	-0.62	12.28	17.30	19.50	2.53	14.91
TIPO II (90°)	1	1	1	-1.31	17.46	22.85	34.87	1.90	7.89
TIPO II (90°)			2	-1.31	16.60	22.92	34.58	1.33	6.64
TIPO II (90°)			3	-1.31	17.41	23.26	34.85	35.33	38.04
TIPO II (90°)			4	-1.31	16.83	23.12	33.69	1.35	5.91
TIPO II (90°)			5	-1.31	16.31	23.55	35.56	1.12	4.68
TIPO II (90°)			6	-1.31	17.42	23.65	35.53	1.29	5.73
TIPO II (90°)			7	-1.31	18.20	23.12	35.16	2.15	6.40
TIPO II (90°)			8	-1.31	18.81	26.23	34.16	2.57	8.87
TIPO II (90°)			9	-1.31	17.05	25.06	35.55	1.26	5.89
TIPO II (90°)			10	-1.31	16.95	22.62	34.60	2.55	6.76
TIPO II (90°)		1 1/2	1	-0.69	12.48	17.07	24.04	0.98	7.18
TIPO II (90°)			2	-0.69	12.79	19.35	24.18	1.48	6.63
TIPO II (90°)			3	-0.69	12.58	17.03	21.41	3.77	11.39

TIPO II (90°)		4	-0.69	12.49	16.86	22.69	2.13	7.99
TIPO II (90°)		5	-0.69	12.42	18.71	23.59	2.13	7.28
TIPO II (90°)		6	-0.69	13.17	18.36	23.02	3.67	10.42
TIPO II (90°)	2	1	-0.62	14.32	20.08	22.53	2.13	13.96
TIPO II (90°)		2	-0.62	12.78	17.32	22.10	1.41	7.32
TIPO II (90°)		3	-0.62	13.38	17.70	21.40	1.56	9.72
TIPO II (90°)		4	-0.62	13.38	17.70	21.40	1.56	12.82
TIPO II (90°)		5	-0.62	13.34	18.40	23.46	1.75	9.37
TIPO II (90°)		6	-0.62	14.57	20.61	25.87	1.92	8.19

Anexo 3: Datos calculados a partir de la información recopilada durante el ensayo experimental para los sistemas de instalación tipo 45 y tipo 90.

ítem	H(m)	Diámetro (m)	Caudal(m ³ /s)	Tiempo cebado experimental (segundos)	Volumen tubo lleno(m ³)	V/Q	K	K PROMEDIO
TIPO I (45°)	3	0.0254	0.00413613	4.62	0.014339822	3.466966036	1.332577231	1.358407677
TIPO I (45°)			0.00435816	5.19	0.014339822	3.290336128	1.577346447	
TIPO I (45°)			0.00543340	6.55	0.014339822	2.639199160	2.481813460	
TIPO I (45°)			0.00397588	2.26	0.014339822	3.606703981	0.626610892	
TIPO I (45°)			0.00310509	3.64	0.014339822	4.618172275	0.788190605	
TIPO I (45°)			0.00420202	1.67	0.014339822	3.412599236	0.489363059	

TIPO I (45°)			0.00390032	3.76	0.014339822	3.676576771	1.022690463	
TIPO I (45°)			0.00429819	3.99	0.014339822	3.336243199	1.195955979	
TIPO I (45°)			0.00449475	4.59	0.014339822	3.190346405	1.438715242	
TIPO I (45°)			0.00521790	7.23	0.014339822	2.748199477	2.630813396	
TIPO I (45°)		0.0381	0.00640079	1.78	0.014339822	2.240319105	0.794529670	0.801346568
TIPO I (45°)	0.00624077		1.70	0.014339822	2.297763185	0.739849960		
TIPO I (45°)	0.00650513		2.00	0.014339822	2.204387641	0.907281443		
TIPO I (45°)	0.00692862		1.69	0.014339822	2.069651912	0.816562433		
TIPO I (45°)	0.00630381		1.74	0.014339822	2.274785553	0.764907267		
TIPO I (45°)		0.0508	0.00726195	1.55	0.014339822	1.974651497	0.784948637	0.794911274
TIPO I (45°)	0.00820053		3.38	0.014339822	1.748644677	1.932925565		
TIPO I (45°)	0.00801387		1.50	0.014339822	1.789376159	0.838280980		
TIPO I (45°)	0.00679509		1.76	0.014339822	2.110321449	0.833996167		
TIPO I (45°)	0.00577082		0.78	0.014339822	2.484883963	0.313897957		
TIPO I (45°)		2.5	0.0254	0.00603580	1.28	0.014339822	2.375795721	0.538766860
TIPO I (45°)	0.00572858			0.78	0.014339822	2.503208304	0.311600117	
TIPO I (45°)	0.00406923			6.58	0.013326407	3.274924799	2.009206441	1.804526005
TIPO I (45°)	0.00418442			4.77	0.013326407	3.184767594	1.497754502	
TIPO I (45°)	0.00367350			5.71	0.013326407	3.627708968	1.573996164	
TIPO I (45°)	0.00354949	5.51	0.013326407	3.754461783	1.467587185			
TIPO I (45°)	0.00382515	6.12	0.013326407	3.483890918	1.756656607			

TIPO I (45°)			0.00450642	7.66	0.013326407	2.957207143	2.590281854	
TIPO I (45°)			0.00394924	7.99	0.013326407	3.374425515	2.367810451	
TIPO I (45°)			0.00394334	3.98	0.013326407	3.379473903	1.177698102	
TIPO I (45°)			0.00385181	5.64	0.013326407	3.459781932	1.630160545	
TIPO I (45°)			0.00414949	6.34	0.013326407	3.211576753	1.974108199	
TIPO I (45°)		0.0381	0.00670101	1.49	0.013326407	1.988716580	0.749226921	0.761740886
TIPO I (45°)			0.00733434	1.99	0.013326407	1.816986641	1.095219940	
TIPO I (45°)			0.00607573	1.55	0.013326407	2.193385194	0.706670221	
TIPO I (45°)			0.00579461	1.50	0.013326407	2.299794175	0.652232281	
TIPO I (45°)			0.00596741	1.85	0.013326407	2.233199142	0.828407984	
TIPO I (45°)			0.00523998	1.37	0.013326407	2.543216250	0.538687970	
TIPO I (45°)		0.0508	0.00610087	1.20	0.013326407	2.184344483	0.549363898	0.599216771
TIPO I (45°)			0.00692794	0.90	0.013326407	1.923573859	0.467879097	
TIPO I (45°)			0.00522157	1.34	0.013326407	2.552186277	0.525040046	
TIPO I (45°)			0.00553486	1.55	0.013326407	2.407722903	0.643761788	
TIPO I (45°)			0.00673050	1.24	0.013326407	1.980002579	0.626261810	
TIPO I (45°)			0.00677565	1.54	0.013326407	1.966809480	0.782993989	
TIPO I (45°)	2	0.0254	0.00374933	6.18	0.012312992	3.284055580	1.881819552	1.858671058

TIPO I (45°)		0.00412902	6.20	0.012312992	2.982060116	2.079099602	
TIPO I (45°)		0.00359254	6.75	0.012312992	3.427377875	1.969435600	
TIPO I (45°)		0.00370762	5.95	0.012312992	3.320996003	1.791631184	
TIPO I (45°)		0.00366236	6.56	0.012312992	3.362033088	1.951200309	
TIPO I (45°)		0.00383763	6.09	0.012312992	3.208487170	1.898090806	
TIPO I (45°)		0.00370207	6.14	0.012312992	3.325973813	1.846075870	
TIPO I (45°)		0.00323856	6.61	0.012312992	3.801999582	1.738558845	
TIPO I (45°)		0.00353258	5.33	0.012312992	3.485556918	1.529167397	
TIPO I (45°)		0.00406506	5.76	0.012312992	3.028978139	1.901631420	
TIPO I (45°)	0.0381	0.00493396	1.21	0.012312992	2.495560970	0.484860925	1.185670749
TIPO I (45°)		0.00615040	2.92	0.012312992	2.001981892	1.458554651	
TIPO I (45°)		0.00603987	2.67	0.012312992	2.038618657	1.309710372	
TIPO I (45°)		0.00445670	3.58	0.012312992	2.762802191	1.295785855	
TIPO I (45°)		0.00600083	3.02	0.012312992	2.051880989	1.471820255	
TIPO I (45°)		0.00590425	2.28	0.012312992	2.085443864	1.093292435	
TIPO I (45°)	0.0508	0.00793789	1.72	0.012312992	1.551166256	1.108843100	1.044400468
TIPO I (45°)		0.00694824	1.51	0.012312992	1.772103157	0.852094865	
TIPO I (45°)		0.00612857	1.78	0.012312992	2.009112726	0.885963230	

TIPO I (45°)			0.00648917	2.76	0.012312992	1.897469110	1.454569134	
TIPO I (45°)			0.00672888	1.76	0.012312992	1.829873148	0.961815305	
TIPO I (45°)			0.00726551	1.70	0.012312992	1.694717270	1.003117175	
TIPO I (45°)	1.5	0.0254	0.00335145	8.72	0.011299577	3.371550359	2.586347250	2.258876340
TIPO I (45°)			0.00340047	7.26	0.011299577	3.322941055	2.184811551	
TIPO I (45°)			0.00363354	6.50	0.011299577	3.109802559	2.090164850	
TIPO I (45°)			0.00374812	6.63	0.011299577	3.014732972	2.199199750	
TIPO I (45°)			0.00323310	7.83	0.011299577	3.494968935	2.240363261	
TIPO I (45°)			0.00364362	8.37	0.011299577	3.101195540	2.698959124	
TIPO I (45°)			0.00409549	7.25	0.011299577	2.759032109	2.627733101	
TIPO I (45°)			0.00355118	6.30	0.011299577	3.181918819	1.979937377	
TIPO I (45°)			0.00266945	7.68	0.011299577	4.232920323	1.814350239	
TIPO I (45°)			0.00353830	6.92	0.011299577	3.193506813	2.166896896	
TIPO I (45°)		0.0381	0.00539490	2.95	0.011299577	2.094490592	1.408457031	1.443483008
TIPO I (45°)			0.00628258	2.69	0.011299577	1.798555555	1.495644654	
TIPO I (45°)			0.00567381	2.64	0.011299577	1.991532891	1.325612051	
TIPO I (45°)			0.00513078	2.66	0.011299577	2.202312053	1.207821569	
TIPO I (45°)	0.00561695		3.99	0.011299577	2.011693324	1.983403709		

TIPO I (45°)			0.00518926	2.70	0.011299577	2.177491290	1.239959036				
TIPO I (45°)		0.0508	0.00605344	2.28	0.011299577	1.866638295	1.221447136	0.884978471			
TIPO I (45°)			0.00524853	1.19	0.011299577	2.152903861	0.552741821				
TIPO I (45°)			0.00529830	2.41	0.011299577	2.132677770	1.130034755				
TIPO I (45°)			0.00574636	1.23	0.011299577	1.966388528	0.625512193				
TIPO I (45°)			0.00579685	1.34	0.011299577	1.949261762	0.687439741				
TIPO I (45°)			0.00561227	2.20	0.011299577	2.013370281	1.092695179				
TIPO I (45°)											
TIPO I (45°)	1	0.0254	0.00337378	11.48	0.010286162	3.048851763	3.765351972	3.634828680			
TIPO I (45°)				0.00333700	10.44	0.010286162	3.082461466		3.386903654		
TIPO I (45°)				0.00408398	11.38	0.010286162	2.518660588		4.518274535		
TIPO I (45°)				0.00318550	11.10	0.010286162	3.229060757		3.437532098		
TIPO I (45°)				0.00300110	10.11	0.010286162	3.427459032		2.949707030		
TIPO I (45°)				0.00387601	11.52	0.010286162	2.653803103		4.340939984		
TIPO I (45°)				0.00420834	11.11	0.010286162	2.444235390		4.545388731		
TIPO I (45°)				0.00312805	9.70	0.010286162	3.288361893		2.949796985		
TIPO I (45°)				0.00327040	9.95	0.010286162	3.145227309		3.163523339		
TIPO I (45°)				0.00331542	10.21	0.010286162	3.102524484		3.290868469		
TIPO I (45°)				0.0381	0.00479040	5.35	0.010286162		2.147243561	2.491566442	2.101369362
TIPO I (45°)					0.00496221	4.81	0.010286162		2.072898617	2.320422214	

TIPO I (45°)			0.00446845	4.60	0.010286162	2.301950557	1.998305301		
TIPO I (45°)			0.00474804	3.55	0.010286162	2.166403602	1.638660495		
TIPO I (45°)			0.00529023	4.97	0.010286162	1.944369123	2.556099014		
TIPO I (45°)			0.00473862	3.48	0.010286162	2.170709178	1.603162706		
TIPO I (45°)		0.0508	0.00565028	4.33	0.010286162	1.820469830	2.378506871		2.006643560
TIPO I (45°)			0.00569017	3.47	0.010286162	1.807708231	1.919557559		
TIPO I (45°)			0.00486059	3.98	0.010286162	2.116236647	1.880697041		
TIPO I (45°)			0.00534396	4.15	0.010286162	1.924820512	2.156045187		
TIPO I (45°)			0.00638678	3.32	0.010286162	1.610538672	2.061422093		
TIPO I (45°)			0.00485824	3.48	0.010286162	2.117261470	1.643632612		
TIPO II (90°)	3	0.0254	0.00548146	4.28	0.014258748	2.601267426	1.645351784	0.944979453	
TIPO II (90°)			0.00460488	5.64	0.014258748	3.096445205	1.821443502		
TIPO II (90°)			0.00283898	0.91	0.014258748	5.022497754	0.181184750		
TIPO II (90°)			0.00246517	0.91	0.014258748	5.784085620	0.157328238		
TIPO II (90°)			0.00324209	4.63	0.014258748	4.398012142	1.052748344		
TIPO II (90°)			0.00384679	2.51	0.014258748	3.706660519	0.677159396		
TIPO II (90°)			0.00328888	5.00	0.014258748	4.335445710	1.153283961		
TIPO II (90°)			0.00345162	3.28	0.014258748	4.131027783	0.793991271		

TIPO II (90°)			0.00295124	4.40	0.014258748	4.831449392	0.910699801		
TIPO II (90°)			0.00335542	4.49	0.014258748	4.249465442	1.056603486		
TIPO II (90°)		0.0381	0.00956257	2.89	0.014258748	1.491099982	1.938166477	2.721729861	
TIPO II (90°)			0.00950501	2.46	0.014258748	1.500129910	1.639857978		
TIPO II (90°)			0.01290593	3.69	0.014258748	1.104821199	3.339906949		
TIPO II (90°)			0.00821830	1.99	0.014258748	1.734999938	1.146974104		
TIPO II (90°)			0.00680822	2.64	0.014258748	2.094342261	1.260538953		
TIPO II (90°)			0.03541901	2.82	0.014258748	0.402573346	7.004934703		
TIPO II (90°)			0.00635786	2.13	0.014258748	2.242694720	0.949750308		
TIPO II (90°)		0.0508	0.01216134	2.27	0.014258748	1.172465491	1.936091099	1.143151861	
TIPO II (90°)			0.01391645	1.47	0.014258748	1.024596732	1.434710804		
TIPO II (90°)			0.00790381	1.83	0.014258748	1.804035193	1.014392628		
TIPO II (90°)			0.00561002	1.90	0.014258748	2.541655583	0.747544243		
TIPO II (90°)			0.00588873	1.88	0.014258748	2.421363382	0.776422083		
TIPO II (90°)		2.5	0.0254	0.00416844	1.71	0.013245334	3.177531383	0.538153615	1.513669208
TIPO II (90°)				0.00611454	1.92	0.013245334	2.166203213	0.886343437	
TIPO II (90°)	0.00346306			4.24	0.013245334	3.824753036	1.108568308		
TIPO II (90°)	0.00373142			3.54	0.013245334	3.549673676	0.997274770		

TIPO II (90°)		0.00462490	9.21	0.013245334	2.863919097	3.215872966	
TIPO II (90°)		0.00379577	6.95	0.013245334	3.489499253	1.991689780	
TIPO II (90°)		0.00418116	2.95	0.013245334	3.167863175	0.931227088	
TIPO II (90°)		0.00367396	6.14	0.013245334	3.605195348	1.703097726	
TIPO II (90°)		0.00313135	5.75	0.013245334	4.229906755	1.359368027	
TIPO II (90°)		0.00417514	7.63	0.013245334	3.172430066	2.405096358	
TIPO II (90°)	0.0381	0.00789435	3.03	0.013245334	1.677823429	1.805911127	1.101691820
TIPO II (90°)		0.00431952	1.65	0.013245334	3.066393272	0.538091449	
TIPO II (90°)		0.00603079	1.91	0.013245334	2.196285159	0.869650279	
TIPO II (90°)		0.00610255	2.32	0.013245334	2.170458255	1.068898697	
TIPO II (90°)		0.00433636	4.21	0.013245334	3.054480891	1.378302943	
TIPO II (90°)		0.00648131	1.94	0.013245334	2.043618775	0.949296426	
TIPO II (90°)	0.0508	0.00625070	1.95	0.013245334	2.119017469	0.920237812	0.877737709
TIPO II (90°)		0.00651517	1.43	0.013245334	2.032998733	0.703394437	
TIPO II (90°)		0.00526037	2.72	0.013245334	2.517944757	1.080246098	
TIPO II (90°)		0.00526817	2.72	0.013245334	2.514219987	1.081846463	
TIPO II (90°)		0.00666554	1.23	0.013245334	1.987136531	0.618981122	
TIPO II (90°)		0.00679391	1.68	0.013245334	1.949588469	0.861720320	

TIPO II (90°)	2	0.0254	0.00341598	1.52	0.012231919	3.580796366	0.424486579	1.820803039
TIPO II (90°)			0.00354914	7.61	0.012231919	3.446445082	2.208072323	
TIPO II (90°)			0.00344520	7.28	0.012231919	3.550424571	2.050458995	
TIPO II (90°)			0.00362660	5.92	0.012231919	3.372834916	1.755200046	
TIPO II (90°)			0.00395272	7.02	0.012231919	3.094556916	2.268499236	
TIPO II (90°)			0.00318856	5.46	0.012231919	3.836187202	1.423288206	
TIPO II (90°)			0.00425250	7.40	0.012231919	2.876404722	2.572656046	
TIPO II (90°)			0.00343267	7.06	0.012231919	3.563384837	1.981262289	
TIPO II (90°)			0.00396751	6.09	0.012231919	3.083018641	1.975336743	
TIPO II (90°)			0.00358796	5.28	0.012231919	3.409157115	1.548769922	
TIPO II (90°)		0.0381	0.00592634	1.94	0.012231919	2.063990304	0.939926896	1.329752632
TIPO II (90°)			0.00528290	2.96	0.012231919	2.315378602	1.278408636	
TIPO II (90°)			0.01202135	2.68	0.012231919	1.017516530	2.633863845	
TIPO II (90°)			0.00489902	2.23	0.012231919	2.496808844	0.893140060	
TIPO II (90°)			0.00519175	2.15	0.012231919	2.356031052	0.912551640	
TIPO II (90°)			0.00469586	3.44	0.012231919	2.604827827	1.320624712	
TIPO II (90°)		0.0508	0.00622251	3.82	0.012231919	1.965753936	1.943274756	1.287157609
TIPO II (90°)			0.00547214	3.62	0.012231919	2.235307540	1.619463960	

TIPO II (90°)			0.00569764	2.85	0.012231919	2.146840096	1.327532500	
TIPO II (90°)			0.00411169	2.24	0.012231919	2.974909052	0.752964195	
TIPO II (90°)			0.00691492	2.23	0.012231919	1.768916276	1.260658873	
TIPO II (90°)			0.00607186	1.65	0.012231919	2.014525651	0.819051373	
TIPO II (90°)	1.5	0.0254	0.00337453	7.94	0.011218504	3.324462438	2.388356057	2.660784602
TIPO II (90°)			0.00379304	7.41	0.011218504	2.957656908	2.505361585	
TIPO II (90°)			0.00378201	8.39	0.011218504	2.966278308	2.828460154	
TIPO II (90°)			0.00396556	8.78	0.011218504	2.828980038	3.103592065	
TIPO II (90°)			0.00380862	8.13	0.011218504	2.945558642	2.760087640	
TIPO II (90°)			0.00403246	6.75	0.011218504	2.782046560	2.426271399	
TIPO II (90°)			0.00337107	7.59	0.011218504	3.327880773	2.280730746	
TIPO II (90°)			0.00417948	8.07	0.011218504	2.684184210	3.006500064	
TIPO II (90°)			0.00365144	8.32	0.011218504	3.072347071	2.708027384	
TIPO II (90°)			0.00364210	8.01	0.011218504	3.080225536	2.600458930	
TIPO II (90°)		0.0381	0.00528871	2.85	0.011218504	2.121215958	1.343568998	1.234068011
TIPO II (90°)			0.00616074	3.02	0.011218504	1.820967496	1.658459037	
TIPO II (90°)			0.00212481	3.93	0.011218504	5.279769824	0.744350631	
TIPO II (90°)			0.00582101	2.09	0.011218504	1.927243327	1.084450505	

TIPO II (90°)			0.00629161	2.41	0.011218504	1.783089663	1.351586547			
TIPO II (90°)			0.00590902	2.32	0.011218504	1.898538891	1.221992349			
TIPO II (90°)		0.0508	0.01109583	1.60	0.011218504	1.011056214	1.582503502	1.318204844		
TIPO II (90°)			0.00668696	2.06	0.011218504	1.677669268	1.227893983			
TIPO II (90°)			0.00654608	2.95	0.011218504	1.713773517	1.721347640			
TIPO II (90°)			0.00625886	2.51	0.011218504	1.792419985	1.400341450			
TIPO II (90°)			0.00398330	2.30	0.011218504	2.816382982	0.816650297			
TIPO II (90°)			0.00591772	2.20	0.011218504	1.895747354	1.160492191			
TIPO II (90°)	1		0.0254	0.00416721	12.02	0.010205089	2.448901593		4.908322993	4.071054442
TIPO II (90°)					0.00501319	11.66	0.010205089		2.035649450	
TIPO II (90°)				0.00108117	11.59	0.010205089	9.438925531	1.227893997		
TIPO II (90°)				0.00439221	10.57	0.010205089	2.323449818	4.549269761		
TIPO II (90°)				0.00419590	12.01	0.010205089	2.432156967	4.938003658		
TIPO II (90°)				0.00446028	11.88	0.010205089	2.287992091	5.192325641		
TIPO II (90°)				0.00298675	12.04	0.010205089	3.416782559	3.523782913		
TIPO II (90°)				0.00346568	7.93	0.010205089	2.944617807	2.693048987		
TIPO II (90°)				0.00469399	10.49	0.010205089	2.174075795	4.825038770		
TIPO II (90°)				0.00266197	11.98	0.010205089	3.833654011	3.124955973		

TIPO II (90°)	0.0381	0.00735691	6.97	0.010205089	1.387142449	5.024718267	2.258265955
TIPO II (90°)		0.00449831	4.83	0.010205089	2.268650616	2.129018882	
TIPO II (90°)		0.00303375	4.38	0.010205089	3.363853370	1.302078158	
TIPO II (90°)		0.00376673	5.83	0.010205089	2.709269792	2.151871334	
TIPO II (90°)		0.00342966	4.88	0.010205089	2.975541668	1.640037527	
TIPO II (90°)		0.00285101	4.66	0.010205089	3.579462161	1.301871563	
TIPO II (90°)	0.0508	0.00658117	2.45	0.010205089	1.550649401	1.579983198	2.359075293
TIPO II (90°)		0.00521302	4.78	0.010205089	1.957615803	2.441745716	
TIPO II (90°)		0.00625339	3.70	0.010205089	1.631928864	2.267255688	
TIPO II (90°)		0.00825203	3.70	0.010205089	1.236676203	2.991890676	
TIPO II (90°)		0.00537649	5.06	0.010205089	1.898094752	2.665831090	
TIPO II (90°)		0.00428332	5.26	0.010205089	2.382521111	2.207745391	

H(m)	Diámetro(m)	Caudal(m ³ /s)	Tiempo de cebado experimental (Segundos)	Volumen tubo lleno(m ³)	V/Q	K PROMEDIO	Tiempo de cebado Calculado (Segundos)	Error Relativo(%)
3.0	0.0254	0.004312184	4.350000000	0.014339822	3.325419333	1.358407677	4.517275152	3.845405792
	0.0381	0.006606846	1.743333333	0.014339822	2.170449012	0.801346568	1.739281867	0.232397668
	0.0508	0.006757448	1.580000000	0.014339822	2.122076608	0.794911274	1.686862621	6.763457018

2.5	0.0254	0.003970207	6.030000000	0.013326407	3.356602219	1.804526005	6.057075992	0.449021424
	0.0381	0.006185513	1.625000000	0.013326407	2.154454704	0.761740886	1.641136236	0.992999137
	0.0508	0.006215231	1.295000000	0.013326407	2.144153185	0.599216771	1.284812548	0.786675798
2.0	0.0254	0.003721677	6.157000000	0.012312992	3.308452438	1.858671058	6.149324795	0.124658188
	0.0381	0.005581003	2.613333333	0.012312992	2.206232724	1.185670749	2.615865606	0.096898206
	0.0508	0.005085315	3.910000000	0.013326407	2.620566398	1.044400468	2.736920773	30.002026266
1.50	0.0254	0.003486471	7.346000000	0.011299577	3.240978058	2.258876340	7.320968653	0.340747984

	0.0381	0.005548048	2.938333333	0.011299577	2.036676072	1.443483008	2.939907303	0.053566740
	0.0508	0.005625958	1.775000000	0.011299577	2.008471532	0.884978471	1.777454065	0.138257207
1.00	0.0254	0.003477957	10.700000000	0.010286162	2.957529592	3.634828680	10.750113382	0.468349363
	0.0381	0.004832992	4.460000000	0.010286162	2.128321549	2.101369362	4.472389697	0.277795895
	0.0508	0.005465003	3.788333333	0.010286162	1.882187746	2.006643560	3.776879920	0.302333821
3.00	0.0254	0.003552652	3.605000000	0.014258748	4.013550428	0.944979453	3.792722690	5.207286829
	0.0381	0.013736507	2.748333333	0.014258748	1.038018504	2.721729861	2.825205958	2.797063362

	0.0508	0.008639702	1.913333333	0.014258748	1.650375083	1.143151861	1.886629347	1.395678716
2.50	0.0254	0.004105973	5.004000000	0.013245334	3.225869952	1.513669208	4.882900014	2.420063675
	0.0381	0.005860814	2.368176630	0.013245334	2.259981738	1.101691820	2.489803395	5.135882323
	0.0508	0.006125643	1.955000000	0.013245334	2.162276341	0.877737709	1.897911481	2.920128829
2.00	0.0254	0.003641884	6.064000000	0.012231919	3.358678637	1.820803039	6.115492268	0.849146895
	0.0381	0.006336204	2.566666667	0.012231919	1.930480427	1.329752632	2.567061428	0.015380311
	0.0508	0.005748461	2.735000000	0.012231919	2.127859787	1.287157609	2.738890917	0.142263884

1.50	0.0254	0.003760033	7.939000000	0.011218504	2.983618737	2.660784602	7.938766795	0.002937462
	0.0381	0.005265983	2.938333333	0.011218504	2.130372014	1.234068011	2.629023955	10.526694675
	0.0508	0.006748125	1.775000000	0.011218504	1.662462410	1.318204844	2.191466001	23.462873305
1.00	0.0254	0.004832992	11.217000000	0.010286162	2.128321549	4.071054442	8.664512898	22.755523779
	0.0381	0.004156062	4.460000000	0.010286162	2.474978010	2.258265955	5.589158580	25.317456940
	0.0508	0.005993236	4.158333333	0.010286162	1.716295146	2.006643560	3.443992603	17.178534605

Anexo 4: Cálculo del error porcentual entre el tiempo de cebado calculado y experimental para los sistemas de instalación de tipo 45 y tipo 90 de instalación.

Tipo	H(m)	Diámetro(m)	Caudal(m3/s)	Tiempo de cebado experimental (Segundos)	Volumen tubo lleno(m3)	V/Q	K PROMEDIO	Tiempo de cebado Cálculo (Segundos)	Error Relativo(%)	Presion teorico(mca)	Presion Experimental(mca)	Velocidad(m/s)	Error Presion(%)
tipo 45	3	0.0254	0.004312184	4.35	0.01433982	3.32541933	1.35840768	4.517275152	3.845405792	-2.63	-2.78	1.83	5.70
tipo 45		0.0381	0.006606846	1.74	0.01433982	2.17044901	0.80134657	1.739281867	0.232397668	-1.90	-1.73	3.21	8.95
tipo 45		0.0508	0.006757448	1.58	0.01433982	2.12207661	0.79491127	1.686862621	6.763457018	-1.62	-1.45	3.64	10.49
tipo 45	2.5	0.0254	0.003970207	6.03	0.01332641	3.35660222	1.80452601	6.057075992	0.449021424	-2.38	-2.44	1.73	2.52
tipo 45		0.0381	0.006185513	1.63	0.01332641	2.1544547	0.76174089	1.641136236	0.992999137	-1.50	-1.45	3.03	3.33
tipo 45		0.0508	0.006215231	1.30	0.01332641	2.14415318	0.59921677	1.284812548	0.786675798	-1.54	-1.45	3.21	5.84
tipo 45	2	0.0254	0.003721677	6.16	0.01231299	3.30845244	1.85867106	6.149324795	0.124658188	-1.85	-2.07	1.73	11.89
tipo 45		0.0381	0.005581003	2.61	0.01231299	2.20623272	1.18567075	2.615865606	0.096898206	-1.28	-1.38	2.69	7.81
tipo 45		0.0508	0.005085315	3.91	0.01332641	2.6205664	1.04440047	2.736920773	30.00202627	-1.01	-1.04	3.21	2.97
tipo 45	1.5	0.0254	0.003486471	7.35	0.01129958	3.24097806	2.25887634	7.320968653	0.340747984	-1.33	-1.38	1.73	3.76
tipo 45		0.0381	0.005548048	2.94	0.01129958	2.03667607	1.44348301	2.939907303	0.05356674	-0.63	-0.69	2.99	9.52
tipo 45		0.0508	0.005625958	1.78	0.01129958	2.00847153	0.88497847	1.777454065	0.138257207	-0.61	-0.62	3.03	1.64
tipo 45	1	0.0254	0.003477957	10.70	0.01028616	2.95752959	3.63482868	10.75011338	0.468349363	-0.8	-1.14	1.73	42.50
tipo 45		0.0381	0.004832992	4.46	0.01028616	2.12832155	2.10136936	4.472389697	0.277795895	-0.63	-0.69	1.73	9.52
tipo 45		0.0508	0.005465003	3.79	0.01028616	1.88218775	2.00664356	3.77687992	0.302333821	-0.58	-0.62	1.86	6.90
tipo 90	3	0.0254	0.003552652	3.61	0.01425875	4.01355043	0.94497945	3.79272269	5.207286829	-2.58	-2.83	1.86	9.69
tipo 90		0.0381	0.013736507	2.75	0.01425875	1.0380185	2.72172986	2.825205958	2.797063362	-1.90	-2.07	3.21	8.95
tipo 90		0.0508	0.008639702	1.91	0.01425875	1.65037508	1.14315186	1.886629347	1.395678716	-1.79	-2.00	3.64	11.73
tipo 90	2.5	0.0254	0.004105973	5.00	0.01324533	3.22586995	1.51366921	4.882900014	2.420063675	-2.38	-2.76	1.73	15.97
tipo 90		0.0381	0.005860814	2.37	0.01324533	2.25998174	1.10169182	2.489803395	5.135882323	-1.63	-1.73	3.03	6.13
tipo 90		0.0508	0.006125643	1.96	0.01324533	2.16227634	0.87773771	1.897911481	2.920128829	-1.40	-1.38	3.21	1.43
tipo 90	2	0.0254	0.003641884	6.06	0.01223192	3.35867864	1.82080304	6.115492268	0.849146895	-1.85	-2.07	1.73	11.89
tipo 90		0.0381	0.006336204	2.57	0.01223192	1.93048043	1.32975263	2.567061428	0.015380311	-1.30	-1.38	2.69	6.15
tipo 90		0.0508	0.005748461	2.74	0.01223192	2.12785979	1.28715761	2.738890917	0.142263884	-1.07	-1.04	3.16	2.80
tipo 90	1.5	0.0254	0.003760033	7.94	0.0112185	2.98361874	2.6607846	7.938766795	0.002937462	-1.30	-1.31	1.73	0.77
tipo 90		0.0381	0.005265983	2.94	0.0112185	2.13037201	1.23406801	2.629023955	10.52669467	-0.64	-0.69	2.99	7.81
tipo 90		0.0508	0.006748125	1.78	0.0112185	1.66246241	1.31820484	2.191466001	23.4628733	-0.63	-0.62	3.03	1.59
tipo 90	1	0.0254	0.004832992	11.22	0.01028616	2.12832155	4.07105444	8.664512898	22.75552378	-0.81	-1.37	1.73	69.14
tipo 90		0.0381	0.004156062	4.46	0.01028616	2.47497801	2.25826596	5.58915858	25.31745694	-0.63	-0.69	1.73	9.52
tipo 90		0.0508	0.005993236	4.16	0.01028616	1.71629515	2.00664356	3.443992603	17.1785346	-0.58	-0.62	1.86	6.90

Anexo 5: Panel fotográfico.

Fotografía 1: Instalación de la bomba Delcrosa en el sistema experimental de drenaje sifónico.



Fotografía 2: Componente del sistema de impulsión (válvula check horizontal y válvula de pie vertical)



Fotografía 3: Instrumentos utilizados para la medición del caudal volumétrico



Fotografía 4: Componentes del sistema de drenaje (válvula de bola de diámetro de 2 pulgadas y tubo corrugado transparente cortado en la bajante principal)



Fotografía 5: Accesorio de tee y codo de 90 de diámetro de 2 pulgadas



Fotografía 6: Corte de tubería para la configuración de instalaciones tipo 45 y 90 en la bajante principal



Fotografía 7: Materiales y herramientas usadas en el sistema de drenaje sifónico



Fotografía 8: Supervisión del ingeniero Roger Salazar, asesor de tesis.

