

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y LA
LONGITUD DE LA BAJANTE PRINCIPAL EN UN SISTEMA
DE DRENAJE SIFÓNICO CON SUMIDEROS
INDEPENDIENTES”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO

PRESENTADO POR:

RENZO PIETRO MARQUINA ASTO

ASESOR:

ING. ROGER EDMUNDO SALAZAR GAVELÁN

LIMA, PERÚ

2022



DEDICATORIA

A mis padres Sonia M. Asto y Peter **R.** Marquina, por el apoyo y cariño incondicional. A mi hermano Peter **S.** Marquina, familiares y amigos por la asistencia en este proyecto.

AGRADECIMIENTO

Es necesario enfatizar que el desarrollo de este proyecto no se hubiera podido llevar a cabo sin la ayuda de muchas personas a las cuales les quisiera brindar mis más sinceras muestras de agradecimiento.

- A mis padres y hermano por su ayuda incondicional para poder llevar a cabo este ambicioso proyecto.
- Al Ingeniero Roger Edmundo Salazar Gavelán, por su tiempo dedicado a brindar guía, consejos y recomendaciones para el desarrollo de este proyecto de investigación.
- Al Ingeniero César Fernando Ibáñez Alfaro; al personal administrativo con mención especial a la Srta. Diana y al Sr. Michael; al personal operativo con mención al Sr. Manuel y a la Sra. Margarita y demás personal del Vivero Municipal de Breña y de la Municipalidad de Breña por su apoyo en brindar las facilidades necesarias para el desarrollo de este proyecto.

RESUMEN

El presente proyecto de investigación fue realizado para poder evaluar el comportamiento hidráulico de un sistema sifónico en relación a la altura de la bajante principal, y con ello dar el primer paso para poder incursionar a la comunidad científica peruana en el desarrollo de la tecnología de drenaje sifónicos y adaptación del mismo a nuestra realidad.

El desarrollo experimental de la tesis tuvo lugar en el Vivero Municipal de Breña donde se construyó un sistema sifónico de 3 sumideros independientes que conectan entre sí a un colector para finalmente descargar a una bajante principal mediante 2 codos de 45°. Cada uno de estos sumideros es abastecido por una bomba centrífuga independiente; además, el colector horizontal cuenta con 2 manovacúómetros ubicados estratégicamente. Gracias a estos equipos se pudo obtener datos referentes al caudal y a la presión en el sistema instalado.

En total se evaluaron 24 escenarios, cada uno correspondiente a una altura específica de la bajante principal teniendo como altura máxima $H=2.66$ m reduciéndose hasta una altura mínima de $H=0.35$ m. En cada escenario se realizó una prueba hidráulica y una consecutiva que verificara la veracidad de la anterior, además se realizó un cálculo hidráulico en cada escenario para evaluar si efectivamente el sistema se encontraba trabajando como un sistema sifónico.

Se encontró que mientras la longitud de la bajante se reducía, la capacidad hidráulica total disminuía progresivamente desde los 13.89 l/s hasta los 6.89 l/s manteniendo la proporcionalidad de los caudales individuales en el sistema. Además, las presiones de los manovacúómetros mostraron un comportamiento de incremento conforme se reducía la longitud de la bajante, obteniéndose un crecimiento progresivo de las presiones a lo largo de los escenarios en los manovacúómetros P-01 y P-02 con valores de -0.09 a 0.50 m.c.a. y de -1.40 a 0.09 m.c.a. respectivamente durante los 24 escenarios.

La investigación demostró que solo en los primeros 22 escenarios el sistema trabajó como un sistema sifónico teniendo un porcentaje de error promedio con el cálculo hidráulico de 4.32%, 3.10% y 2.87% para los caudales Q1, Q2 y Q3 respectivamente. En el escenario 23 ($H=0.45$) se encontró un porcentaje de error

IV

de 10.10%, 6.56% y 4.86% para los mismos caudales resultando en un sistema sifónico incompleto. Finalmente, en el Escenario 24 ($H=0.35\text{m}$) el sistema dejó de trabajar como un sistema sifónico a partir de la parte final del colector principal con porcentajes de error de 28.02%, 25.34% y 21.73%.

Además, las pruebas hidráulicas mostraron una velocidad mínima en la bajante principal de 2.289 m/s con la cual el sistema sifónico logró cebarse siendo la velocidad obtenida del escenario 23, el cual fue el último escenario donde el sistema logró cebarse demorando alrededor de 2 a 3 minutos en hacerlo.

Además, se deduce que para que el tiempo de cebado no fuera tan prolongado es recomendable usar velocidades en la bajante principal que garanticen que la presión mínima en todo el sistema se ubique a la salida del codo de 45° que conecta a la bajante principal y no del codo de 45° que conecta al colector horizontal, siendo el caso específico del sistema instalado una velocidad de 2.75 m/s.

Finalmente se concluye que la bajante principal no solo afecta a la capacidad hidráulica de un sistema sifónico, sino que, también afecta directamente al tiempo de cebado debido a que, el arrastre hidráulico generado cuando el sistema se encuentra totalmente cebado, también se genera en menor proporción durante el proceso de cebado y en casos con velocidades muy bajas en la bajante principal el sistema nunca lograría cebarse.

ABSTRACT

This paper was carried out in order to evaluate the hydraulic behavior of a siphonic system in relation to the height of the main downpipe, and thus take the first step for the Peruvian scientific community to enter in the development of siphonic drainage technology and its adaptation to our reality.

The experimental research took place in “Vivero Municipal de Breña” where a siphonic system was built with 3 independent drains that connect to a collector to finally discharge to a main downpipe through 2 elbows of 45°. Each of these drains is supplied by an independent centrifugal pump. In addition, the horizontal collector has 2 vacuum pressure gauge that are strategically located. Thanks to this equipment, it was possible to get flow and pressure data.

A total of 24 scenarios were evaluated, each one corresponding to a specific height of the main downpipe with a maximum height of $H=2.66$ m and a minimum of $H=0.35$ m. In each scenario, a hydraulic test was performed and a consecutive test were performed in order to verify the veracity of the previous one, and also a hydraulic calculation was performed in each scenario to evaluate if the system was effectively working as a siphonic system.

It was found that as the length of the main downpipe was reduced, the total hydraulic capacity decreased progressively from 13.89 l/s to 6.89 l/s while maintaining the proportionality of the individual flows in the system. In addition, the vacuum pressures gauges showed an increasing behavior as the length of the downspout was reduced, obtaining a progressive growth of the pressures throughout the scenarios in the P-01 and P-02 vacuum pressures gauges with values from -0.09 to 0.50 m.c.a. and from -1.40 to 0.09 m.c.a. respectively during the 24 scenarios.

The investigation showed that only the first 22 scenarios worked as a siphonic system having an average error percentage with the hydraulic calculation of 4.32%, 3.10% and 2.87% for flows Q1, Q2 and Q3 respectively. In scenario 23 ($H=0.45$) an error percentage of 10.10%, 6.56% and 4.86% was found for the same flow rates resulting in an incomplete siphonic system. Finally, in Scenario 24

($H=0.35\text{m}$) the system stopped working as a siphonic system from the final part of the main collector with error percentages of 28.02%, 25.34% and 21.73%.

In addition, the hydraulic tests showed a minimum velocity in the main downpipe of 2.289 m/s with which the siphonic system was able to prime, being the velocity obtained from scenario 23, which was the last scenario where the system was able to prime, taking about 2 to 3 minutes to do so.

In addition, it is deduced that in order for the priming time not to be so long, it is advisable to use velocities in the main downpipe that guarantee that the minimum pressure in the entire system is located at the outlet of the 45° elbow that connects to the main downspout and not the 45° elbow that connects to the horizontal collector, being the specific case of the installed system a velocity of 2.75 m/s.

Finally, it is concluded that the main downpipe not only affects the hydraulic capacity of a siphonic system, but also directly affects the priming time because the hydraulic drag generated when the system is fully primed is also generated in a lower proportion during the priming process and in cases with very low velocities in the main downspout the system would never prime.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE CONTENIDO	VII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
ÍNDICE DE ANEXOS	XXIII
GLOSARIO	XXIV
SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	XXVI
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES REFERENCIALES	1
1.3. PLANEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	4
1.3.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:	4
1.3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:	5
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	6
1.5. OBJETIVOS	6
1.5.1. OBJETIVO GENERAL	6
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.6. HIPÓTESIS	7
1.7. VARIABLES	7
1.7.1. VARIABLES INDEPENDIENTES	7
1.7.2. VARIABLES DEPENDIENTES	7
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	8
2.1. SISTEMAS DE DRENAJE PLUVIAL EN EDIFICACIONES	8
2.1.1. SISTEMA DE DRENAJE CONVENCIONAL	9
2.1.2. SISTEMA DE DRENAJE SIFÓNICO	11
2.2. SISTEMA DE DRENAJE SIFÓNICO	11

2.2.1. ETAPAS DEL PROCESO DE CEBADO DE SISTEMAS SIFÓNICOS.....	13
2.2.2. CALCULO HIDRÁULICO DEL SISTEMA SIFÓNICO	16
2.2.3. LIMITACIONES DEL SISTEMA SIFÓNICO.....	25
CAPÍTULO 3: MARCO LEGAL:.....	26
3.1. NORMATIVA NACIONAL PERUANA.....	26
3.2. NORMATIVA INTERNACIONAL.....	26
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN (CAMPO) - I.....	27
4.1. DESARROLLO Y CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA SIFÓNICO.....	27
4.1.1. SISTEMA DE SOPORTE:	29
4.1.2. SISTEMA SIFÓNICO:.....	35
4.2. PREPARACIÓN DE CONDICIONES NECESARIAS PARA EL EXPERIMENTO.....	45
4.2.1. ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA:.....	45
4.2.2. CAUDAL INSUFICIENTE:	46
4.2.3. PROTECCIÓN DE BOMBAS Y MANOVACUÓMETROS.	46
4.2.4. VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE LAS TUBERÍAS CORRUGADAS DE Ø2"	46
4.3. INICIO DE LA PRUEBA Y ESTABILIZACIÓN DEL SISTEMA.....	47
4.4. MEDICIÓN DE PRESIONES Y CAUDALES.	49
4.4.1. PRIMERA LECTURA DEL NIVEL DE CONTENEDORES Y DE MANOVACUÓMETROS.....	49
4.4.2. LECTURA DE CAUDAL TOTAL:	50
4.4.3. SEGUNDA LECTURA DEL NIVEL DE CONTENEDORES:.....	51
4.4.4. APAGADO DEL SISTEMA Y LECTURA DE CAUDALES INDIVIDUALES.....	51
4.5. VERIFICACIÓN DE EQUILIBRIO DEL SISTEMA	53
4.6. REDUCCIÓN DE LA ALTURA DE LA BAJANTE PRINCIPAL DEL SISTEMA.....	54
CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN (GABINETE) - II.....	55
5.1. CONFLUENCIA DE CAUDALES PROVENIENTES DE LOS SUMIDEROS S1 Y S2	55

5.2.	CONFLUENCIA DE CAUDALES PROVENIENTES DE LOS SUMIDEROS S1, S2 Y S3.....	58
5.3.	EQUILIBRIO DE ENERGÍA GENERAL DEL SISTEMA SIFÓNICO.	60
5.4.	CÁLCULO HIDRÁULICO	62
5.4.1.	Cálculo de Perdidas de Carga	63
5.4.2.	Cálculo del factor de fricción “f”	64
5.4.3.	Características de material y fluido	64
5.4.4.	Coeficientes de fricción para accesorios “K”	64
CAPÍTULO 6: CÁLCULOS Y RESULTADOS		69
6.1.	ESCENARIO 01.....	69
6.1.1.	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	69
6.1.2.	DATOS EXPERIMENTALES	69
6.1.3.	CÁLCULO HIDRÁULICO.....	71
6.1.4.	CONTRASTACIÓN DE DATOS	78
6.2.	ESCENARIO 02.....	80
6.2.1.	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	80
6.2.2.	DATOS EXPERIMENTALES	80
6.2.3.	DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	81
6.2.4.	CONTRASTACIÓN DE DATOS	82
6.3.	ESCENARIO 03.....	82
6.3.1.	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	82
6.3.2.	DATOS EXPERIMENTALES	82
6.3.3.	DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	84
6.3.4.	CONTRASTACIÓN DE DATOS	84
6.4.	ESCENARIO 04.....	85
6.4.1.	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	85
6.4.2.	DATOS EXPERIMENTALES	85
6.4.3.	DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	86
6.4.4.	CONTRASTACIÓN DE DATOS	87
6.5.	ESCENARIO 05.....	87
6.5.1.	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	87
6.5.2.	DATOS EXPERIMENTALES	88
6.5.3.	DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	89

6.5.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS	90
6.6. ESCENARIO 06	90
6.6.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	90
6.6.2. DATOS EXPERIMENTALES	90
6.6.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	92
6.6.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS	92
6.7. ESCENARIO 07	93
6.7.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	93
6.7.2. DATOS EXPERIMENTALES	93
6.7.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	94
6.7.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS	95
6.8. ESCENARIO 08	96
6.8.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	96
6.8.2. DATOS EXPERIMENTALES	96
6.8.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	97
6.8.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS	98
6.9. ESCENARIO 09	98
6.9.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	98
6.9.2. DATOS EXPERIMENTALES	99
6.9.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	100
6.9.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS	101
6.10. ESCENARIO 10	101
6.10.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	101
6.10.2. DATOS EXPERIMENTALES	101
6.10.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	102
6.10.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS	103
6.11. ESCENARIO 11	104
6.11.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	104
6.11.2. DATOS EXPERIMENTALES	104
6.11.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	105
6.11.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS	106
6.12. ESCENARIO 12	106
6.12.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	106
6.12.2. DATOS EXPERIMENTALES	107

6.12.3.DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	108
6.12.4.CONTRASTACIÓN DE DATOS	109
6.13. ESCENARIO 13.....	109
6.13.1.CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	109
6.13.2.DATOS EXPERIMENTALES.....	109
6.13.3.DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	111
6.13.4.CONTRASTACIÓN DE DATOS	111
6.14. ESCENARIO 14.....	112
6.14.1.CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	112
6.14.2.DATOS EXPERIMENTALES.....	112
6.14.3.DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	113
6.14.4.CONTRASTACIÓN DE DATOS	114
6.15. ESCENARIO 15.....	114
6.15.1.CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	114
6.15.2.DATOS EXPERIMENTALES.....	115
6.15.3.DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	116
6.15.4.CONTRASTACIÓN DE DATOS	117
6.16. ESCENARIO 16.....	117
6.16.1.CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	117
6.16.2.DATOS EXPERIMENTALES.....	117
6.16.3.DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	119
6.16.4.CONTRASTACIÓN DE DATOS	119
6.17. ESCENARIO 17.....	120
6.17.1.CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	120
6.17.2.DATOS EXPERIMENTALES.....	120
6.17.3.DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	121
6.17.4.CONTRASTACIÓN DE DATOS	122
6.18. ESCENARIO 18.....	122
6.18.1.CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	122
6.18.2.DATOS EXPERIMENTALES.....	123
6.18.3.DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.....	124
6.18.4.CONTRASTACIÓN DE DATOS	125
6.19. ESCENARIO 19.....	125
6.19.1.CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	125

6.19.2.DATOS EXPERIMENTALES	125
6.19.3.DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO	127
6.19.4.CONTRASTACIÓN DE DATOS	127
6.20. ESCENARIO 20	128
6.20.1.CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	128
6.20.2.DATOS EXPERIMENTALES	128
6.20.3.DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO	129
6.20.4.CONTRASTACIÓN DE DATOS	130
6.21. ESCENARIO 21	130
6.21.1.CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	130
6.21.2.DATOS EXPERIMENTALES	131
6.21.3.DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO	132
6.21.4.CONTRASTACIÓN DE DATOS	133
6.22. ESCENARIO 22	133
6.22.1.CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	133
6.22.2.DATOS EXPERIMENTALES	133
6.22.3.DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO	135
6.22.4.CONTRASTACIÓN DE DATOS	135
6.23. ESCENARIO 23	136
6.23.1.CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	136
6.23.2.DATOS EXPERIMENTALES	136
6.23.3.DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO	137
6.23.4.CONTRASTACIÓN DE DATOS	138
6.24. ESCENARIO 24	138
6.24.1.CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	138
6.24.2.DATOS EXPERIMENTALES	139
6.24.3.DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO	140
6.24.4.CONTRASTACIÓN DE DATOS	141
6.25. OBSERVACIONES EN CAMPO	141
6.25.1.OBSERVACIONES GENERALES	141
6.25.2.OBSERVACIONES ESPECÍFICAS	143

CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE RESULTADOS	144
7.1. CAUDALES.....	144
7.1.1. CAUDAL – SUMIDERO 01.....	145
7.1.2. CAUDAL – SUMIDERO 02.....	146
7.1.3. CAUDAL – SUMIDERO 03.....	147
7.1.4. CAUDALES INDIVIDUALES.....	147
7.2. PRESIONES.....	151
7.2.1. PRESIÓN MANOVACUÓMETRO (P – 01).....	151
7.2.2. PRESIÓN MANOVACUÓMETRO (P – 02).....	152
7.3. VELOCIDAD MÍNIMA PARA UN RÁPIDO CEBADO DEL SISTEMA:	153
7.4. VELOCIDAD MÍNIMA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA SIFÓNICO.....	155
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES	158
CAPÍTULO 9: RECOMENDACIONES	160
CAPÍTULO 10: REFERENCIAS	161
ANEXOS	162

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 2.1 Sistema de drenaje pluvial en edificaciones	8
Figura 2.2 Ingreso del agua al drenaje convencional	9
Figura 2.3 Sistema de drenaje convencional en edificaciones	10
Figura 2.4 Ingreso del agua al drenaje sifónico	11
Figura 2.5 Sistema de drenaje sifónico en edificaciones	12
Figura 2.6 Proceso de cebado de un sistema sifónico.	16
Figura 2.7 Diagrama de sistema sifónico	17
Figura 4.1 Diagrama general de la tesis experimental	28
Figura 4.2 Vista esquemática de la instalación experimental	30
Figura 4.3 Vista de la fuente de agua.....	31
Figura 4.4 Vista de las líneas de succión	31
Figura 4.5 Bombas centrífugas	32
Figura 4.6 Válvulas de control.....	33
Figura 4.7 Descarga hacia los Contenedores	33
Figura 4.8 Línea de Retorno	34
Figura 4.9 Panel Eléctrico	35
Figura 4.10 Vistas del sistema sifónico	35
Figura 4.11 Esquema del sistema sifónico	36
Figura 4.12 Estructura de soporte del sistema sifónico	38
Figura 4.13 Contenedor con sumidero sifónico instalado	39
Figura 4.14 Sumidero 01 y su Bajante Secundaria	40
Figura 4.15 Sumidero 02 y su Bajante Secundaria	40
Figura 4.16 Sumidero 03 y su Bajante Secundaria	41
Figura 4.17 Colector Principal del Sistema Sifónico	42
Figura 4.18 Manovacúómetros Ventados.....	43
Figura 4.19 Manovacúómetro 01 en el Sistema Sifónico.....	43
Figura 4.20 Manovacúómetro 02 en el Sistema Sifónico.....	44
Figura 4.21 Expansión excéntrica en el sistema sifónico	44
Figura 4.22 Bajante Principal del sistema sifónico	45
Figura 4.23 Tesista Manipulando las Válvulas de Control.....	47
Figura 4.24 Contenedor con regla de nivel.....	49
Figura 4.25 Manovacúómetros para lectura de presión.....	50

Figura 4.26 Lectura de caudal general del sistema sifónico	51
Figura 4.27 Lectura de caudales individuales del sistema sifónico.....	53
Figura 4.28 Corte de la Bajante Principal	54
Figura 5.1 Punto de Confluencia entre el Caudal Q1 y Q2.....	56
Figura 5.2 Punto de Confluencia para el Caudal Q3	58
Figura 5.3 Flujo General del Sistema Sifónico	60
Figura 5.4 Contracción Gradual según Crane	65
Figura 5.5 Expansión Gradual según Crane	66
Figura 5.6 Confluencia en Yee según Gardel.....	67
Figura 7.1 Conexión hacia bajante principal.....	154
Gráfico 2.1 Diagrama de Presión de vapor vs Temperatura	24
Gráfico 6.1 Diagrama de Presión – Escenario 01	79
Gráfico 7.1 Contraste de los valores experimentales para el caudal Q - 01	145
Gráfico 7.2 Contraste de los valores experimentales para el caudal Q - 02	146
Gráfico 7.3 Contraste de los valores experimentales para el caudal Q - 03	147
Gráfico 7.4 Valores Experimentales de los Caudales Individuales	148
Gráfico 7.5 Error de los caudales del cálculo hidráulico respecto a los datos experimentales (Q1, Q2 y Q3)	149
Gráfico 7.6 Contraste de las presiones en el manovacuómetro (P-01)	151
Gráfico 7.7 Contraste de las presiones en el manovacuómetro (P-02)	152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1.1 Leyenda del diagrama general de la investigación.....	29
Tabla 4.1.2 Leyenda del esquema del sistema sifónico.....	37
Tabla 4.1.3 Detalles métricos de las tuberías usadas en la tesis.....	39
Tabla 5.4.1 Factores de Fricción de Accesorios “K”	64
Tabla 5.4.2 Factores de Fricción para Contracciones.....	65
Tabla 5.4.3 Factores de Fricción para Contracciones.....	66
Tabla 5.4.4 Factores de Fricción para Yees	68
Tabla 6.1.1 Niveles de contenedor – Escenario 01.....	69
Tabla 6.1.2 Caudal Total Experimental– Escenario 01	70
Tabla 6.1.3 Caudales Experimentales– Escenario 01	70
Tabla 6.1.4 Presiones Experimentales – Escenario 01.....	71
Tabla 6.1.5 Valor Compensatorio – Escenario 01.....	71
Tabla 6.1.6 Cálculo Hidráulico (Confluencia L3 – Sumidero S1).....	72
Tabla 6.1.7 Cálculo Hidráulico (Confluencia L3 – Sumidero S2).....	73
Tabla 6.1.8 Cálculo Hidráulico (Confluencia L7 – S1 y S2).....	74
Tabla 6.1.9 Cálculo Hidráulico (Confluencia L7 – Sumidero 3).....	75
Tabla 6.1.10 Cálculo Hidráulico (Descarga L7 – L8).....	76
Tabla 6.1.11 Primer término de ecuación de equilibrio	77
Tabla 6.1.12 Segundo Término de Ecuación de Equilibrio	77
Tabla 6.1.13 Caudales Teóricos – Escenario 01	77
Tabla 6.1.14 Presiones Teóricas – Escenario 01.....	78
Tabla 6.1.15 Caudales Teóricos – Escenario 01	78
Tabla 6.1.16 Caudales Teóricos – Escenario 01	79
Tabla 6.2.1 Niveles de contenedor – Escenario 02.....	80
Tabla 6.2.2 Caudal Total Experimental– Escenario 02	80
Tabla 6.2.3 Caudales Experimentales– Escenario 02	80
Tabla 6.2.4 Presiones Experimentales – Escenario 02.....	81
Tabla 6.2.5 Caudales Teóricos – Escenario 02	81
Tabla 6.2.6 Presiones Teóricas – Escenario 02	81
Tabla 6.2.7 Caudales Teóricos – Escenario 02	82
Tabla 6.2.8 Caudales Teóricos – Escenario 02	82
Tabla 6.3.1 Niveles de contenedor – Escenario 03.....	82

Tabla 6.3.2 Caudal Total Experimental– Escenario 03	83
Tabla 6.3.3 Caudales Experimentales– Escenario 03	83
Tabla 6.3.4 Presiones Experimentales – Escenario 03.....	83
Tabla 6.3.5 Caudales Teóricos – Escenario 03	84
Tabla 6.3.6 Presiones Teóricas – Escenario 03	84
Tabla 6.3.7 Caudales Teóricos – Escenario 03	84
Tabla 6.3.8 Caudales Teóricos – Escenario 03	85
Tabla 6.4.1 Niveles de contenedor – Escenario 04.....	85
Tabla 6.4.2 Caudal Total Experimental– Escenario 04	85
Tabla 6.4.3 Caudales Experimentales– Escenario 04	86
Tabla 6.4.4 Presiones Experimentales – Escenario 04.....	86
Tabla 6.4.5 Caudales Teóricos – Escenario 04	86
Tabla 6.4.6 Presiones Teóricas – Escenario 04	87
Tabla 6.4.7 Caudales Teóricos – Escenario 04	87
Tabla 6.4.8 Caudales Teóricos – Escenario 04	87
Tabla 6.5.1 Niveles de contenedor – Escenario 05.....	88
Tabla 6.5.2 Caudal Total Experimental– Escenario 05	88
Tabla 6.5.3 Caudales Experimentales– Escenario 05	88
Tabla 6.5.4 Presiones Experimentales – Escenario 05.....	89
Tabla 6.5.5 Caudales Teóricos – Escenario 05	89
Tabla 6.5.6 Presiones Teóricas – Escenario 05	89
Tabla 6.5.7 Caudales Teóricos – Escenario 05	90
Tabla 6.5.8 Caudales Teóricos – Escenario 05	90
Tabla 6.6.1 Niveles de contenedor – Escenario 06.....	90
Tabla 6.6.2 Caudal Total Experimental– Escenario 06	91
Tabla 6.6.3 Caudales Experimentales– Escenario 06	91
Tabla 6.6.4 Presiones Experimentales – Escenario 06.....	91
Tabla 6.6.5 Caudales Teóricos – Escenario 06	92
Tabla 6.6.6 Presiones Teóricas – Escenario 06	92
Tabla 6.6.7 Caudales Teóricos – Escenario 06	92
Tabla 6.6.8 Caudales Teóricos – Escenario 06	93
Tabla 6.7.1 Niveles de contenedor – Escenario 07.....	93
Tabla 6.7.2 Caudal Total Experimental– Escenario 07	93
Tabla 6.7.3 Caudales Experimentales– Escenario 07	94

Tabla 6.7.4 Presiones Experimentales – Escenario 07	94
Tabla 6.7.5 Caudales Teóricos – Escenario 07	95
Tabla 6.7.6 Presiones Teóricas – Escenario 07	95
Tabla 6.7.7 Caudales Teóricos – Escenario 07	95
Tabla 6.7.8 Caudales Teóricos – Escenario 07	95
Tabla 6.8.1 Niveles de contenedor – Escenario 08.....	96
Tabla 6.8.2 Caudal Total Experimental– Escenario 08	96
Tabla 6.8.3 Caudales Experimentales– Escenario 08	97
Tabla 6.8.4 Presiones Experimentales – Escenario 08.....	97
Tabla 6.8.5 Caudales Teóricos – Escenario 08	97
Tabla 6.8.6 Presiones Teóricas – Escenario 08	98
Tabla 6.8.7 Caudales Teóricos – Escenario 08	98
Tabla 6.8.8 Caudales Teóricos – Escenario 08	98
Tabla 6.9.1 Niveles de contenedor – Escenario 09.....	99
Tabla 6.9.2 Caudal Total Experimental– Escenario 09	99
Tabla 6.9.3 Caudales Experimentales– Escenario 09	99
Tabla 6.9.4 Presiones Experimentales – Escenario 09.....	100
Tabla 6.9.5 Caudales Teóricos – Escenario 09	100
Tabla 6.9.6 Presiones Teóricas – Escenario 09	100
Tabla 6.9.7 Caudales Teóricos – Escenario 09	101
Tabla 6.9.8 Caudales Teóricos – Escenario 09	101
Tabla 6.10.1 Niveles de contenedor – Escenario 10.....	101
Tabla 6.10.2 Caudal Total Experimental– Escenario 10	102
Tabla 6.10.3 Caudales Experimentales– Escenario 10.....	102
Tabla 6.10.4 Presiones Experimentales – Escenario 10.....	102
Tabla 6.10.5 Caudales Teóricos – Escenario 10	103
Tabla 6.10.6 Presiones Teóricas – Escenario 10.....	103
Tabla 6.10.7 Caudales Teóricos – Escenario 10	103
Tabla 6.10.8 Caudales Teóricos – Escenario 10	104
Tabla 6.11.1 Niveles de contenedor – Escenario 11.....	104
Tabla 6.11.2 Caudal Total Experimental– Escenario 11	104
Tabla 6.11.3 Caudales Experimentales– Escenario 11.....	105
Tabla 6.11.4 Presiones Experimentales – Escenario 11.....	105
Tabla 6.11.5 Caudales Teóricos – Escenario 11	105

Tabla 6.11.6	Presiones Teóricas – Escenario 11.....	106
Tabla 6.11.7	Caudales Teóricos – Escenario 11	106
Tabla 6.11.8	Caudales Teóricos – Escenario 11	106
Tabla 6.12.1	Niveles de contenedor – Escenario 12.....	107
Tabla 6.12.2	Caudal Total Experimental– Escenario 12	107
Tabla 6.12.3	Caudales Experimentales– Escenario 12.....	107
Tabla 6.12.4	Presiones Experimentales – Escenario 12.....	108
Tabla 6.12.5	Caudales Teóricos – Escenario 12	108
Tabla 6.12.6	Presiones Teóricas – Escenario 12.....	108
Tabla 6.12.7	Caudales Teóricos – Escenario 12	109
Tabla 6.12.8	Caudales Teóricos – Escenario 12	109
Tabla 6.13.1	Niveles de contenedor – Escenario 13.....	109
Tabla 6.13.2	Caudal Total Experimental– Escenario 13	110
Tabla 6.13.3	Caudales Experimentales– Escenario 13.....	110
Tabla 6.13.4	Presiones Experimentales – Escenario 13.....	110
Tabla 6.13.5	Caudales Teóricos – Escenario 13	111
Tabla 6.13.6	Presiones Teóricas – Escenario 13.....	111
Tabla 6.13.7	Caudales Teóricos – Escenario 13	111
Tabla 6.13.8	Caudales Teóricos – Escenario 13	112
Tabla 6.14.1	Niveles de contenedor – Escenario 14.....	112
Tabla 6.14.2	Caudal Total Experimental– Escenario 14	112
Tabla 6.14.3	Caudales Experimentales– Escenario 14.....	113
Tabla 6.14.4	Presiones Experimentales – Escenario 14.....	113
Tabla 6.14.5	Caudales Teóricos – Escenario 14	113
Tabla 6.14.6	Presiones Teóricas – Escenario 14.....	114
Tabla 6.14.7	Caudales Teóricos – Escenario 14	114
Tabla 6.14.8	Caudales Teóricos – Escenario 14	114
Tabla 6.15.1	Niveles de contenedor – Escenario 15.....	115
Tabla 6.15.2	Caudal Total Experimental– Escenario 15	115
Tabla 6.15.3	Caudales Experimentales– Escenario 15.....	115
Tabla 6.15.4	Presiones Experimentales – Escenario 15.....	116
Tabla 6.15.5	Caudales Teóricos – Escenario 15	116
Tabla 6.15.6	Presiones Teóricas – Escenario 15.....	116
Tabla 6.15.7	Caudales Teóricos – Escenario 15	117

Tabla 6.15.8 Caudales Teóricos – Escenario 15	117
Tabla 6.16.1 Niveles de contenedor – Escenario 16.....	117
Tabla 6.16.2 Caudal Total Experimental– Escenario 16	118
Tabla 6.16.3 Caudales Experimentales– Escenario 16.....	118
Tabla 6.16.4 Presiones Experimentales – Escenario 16.....	118
Tabla 6.16.5 Caudales Teóricos – Escenario 16	119
Tabla 6.16.6 Presiones Teóricas – Escenario 16.....	119
Tabla 6.16.7 Caudales Teóricos – Escenario 16	119
Tabla 6.16.8 Caudales Teóricos – Escenario 16	120
Tabla 6.17.1 Niveles de contenedor – Escenario 17.....	120
Tabla 6.17.2 Caudal Total Experimental– Escenario 17	120
Tabla 6.17.3 Caudales Experimentales– Escenario 17.....	121
Tabla 6.17.4 Presiones Experimentales – Escenario 17.....	121
Tabla 6.17.5 Caudales Teóricos – Escenario 17	121
Tabla 6.17.6 Presiones Teóricas – Escenario 17.....	122
Tabla 6.17.7 Caudales Teóricos – Escenario 17	122
Tabla 6.17.8 Caudales Teóricos – Escenario 17	122
Tabla 6.18.1 Niveles de contenedor – Escenario 18.....	123
Tabla 6.18.2 Caudal Total Experimental– Escenario 18	123
Tabla 6.18.3 Caudales Experimentales– Escenario 18.....	123
Tabla 6.18.4 Presiones Experimentales – Escenario 18.....	124
Tabla 6.18.5 Caudales Teóricos – Escenario 18	124
Tabla 6.18.6 Presiones Teóricas – Escenario 18.....	124
Tabla 6.18.7 Caudales Teóricos – Escenario 18	125
Tabla 6.18.8 Caudales Teóricos – Escenario 18	125
Tabla 6.19.1 Niveles de contenedor – Escenario 19.....	125
Tabla 6.19.2 Caudal Total Experimental– Escenario 19	126
Tabla 6.19.3 Caudales Experimentales– Escenario 19.....	126
Tabla 6.19.4 Presiones Experimentales – Escenario 19.....	126
Tabla 6.19.5 Caudales Teóricos – Escenario 19	127
Tabla 6.19.6 Presiones Teóricas – Escenario 19.....	127
Tabla 6.19.7 Caudales Teóricos – Escenario 19	127
Tabla 6.19.8 Caudales Teóricos – Escenario 19	128
Tabla 6.20.1 Niveles de contenedor – Escenario 20.....	128

Tabla 6.20.2	Caudal Total Experimental– Escenario 20	128
Tabla 6.20.3	Caudales Experimentales– Escenario 20.....	129
Tabla 6.20.4	Presiones Experimentales – Escenario 20.....	129
Tabla 6.20.5	Caudales Teóricos – Escenario 20	129
Tabla 6.20.6	Presiones Teóricas – Escenario 20.....	130
Tabla 6.20.7	Caudales Teóricos – Escenario 20	130
Tabla 6.20.8	Caudales Teóricos – Escenario 20	130
Tabla 6.21.1	Niveles de contenedor – Escenario 21.....	131
Tabla 6.21.2	Caudal Total Experimental– Escenario 21	131
Tabla 6.21.3	Caudales Experimentales– Escenario 21.....	131
Tabla 6.21.4	Presiones Experimentales – Escenario 21.....	132
Tabla 6.21.5	Caudales Teóricos – Escenario 21	132
Tabla 6.21.6	Presiones Teóricas – Escenario 21.....	132
Tabla 6.21.7	Caudales Teóricos – Escenario 21	133
Tabla 6.21.8	Caudales Teóricos – Escenario 21	133
Tabla 6.22.1	Niveles de contenedor – Escenario 22.....	133
Tabla 6.22.2	Caudal Total Experimental– Escenario 22	134
Tabla 6.22.3	Caudales Experimentales– Escenario 22.....	134
Tabla 6.22.4	Presiones Experimentales – Escenario 22.....	134
Tabla 6.22.5	Caudales Teóricos – Escenario 22	135
Tabla 6.22.6	Presiones Teóricas – Escenario 22.....	135
Tabla 6.22.7	Caudales Teóricos – Escenario 22	135
Tabla 6.22.8	Caudales Teóricos – Escenario 22	136
Tabla 6.23.1	Niveles de contenedor – Escenario 23.....	136
Tabla 6.23.2	Caudal Total Experimental– Escenario 23	136
Tabla 6.23.3	Caudales Experimentales– Escenario 23.....	137
Tabla 6.23.4	Presiones Experimentales – Escenario 23.....	137
Tabla 6.23.5	Caudales Teóricos – Escenario 23	137
Tabla 6.23.6	Presiones Teóricas – Escenario 23.....	138
Tabla 6.23.7	Caudales Teóricos – Escenario 23	138
Tabla 6.23.8	Caudales Teóricos – Escenario 23	138
Tabla 6.24.1	Niveles de contenedor – Escenario 24.....	139
Tabla 6.24.2	Caudal Total Experimental– Escenario 24	139
Tabla 6.24.3	Caudales Experimentales– Escenario 24.....	139

Tabla 6.24.4 Presiones Experimentales – Escenario 24.....	140
Tabla 6.24.5 Caudales Teóricos – Escenario 24	140
Tabla 6.24.6 Presiones Teóricas – Escenario 24.....	140
Tabla 6.24.7 Caudales Teóricos – Escenario 24	141
Tabla 6.24.8 Caudales Teóricos – Escenario 24	141
Tabla 7.1.1 Caudales Validación de los caudales individuales	145
Tabla 7.3.1 Presiones en los Codos de la Bajante Principal.....	155
Tabla 7.4.1 Velocidades Mínimas en el sistema sifónico	156
Tabla 7.4.2 Tramos del sistema con Velocidades Mínimas	156

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Esquemas de Puntos Críticos para el Cálculo Hidráulico	163
Anexo 2 Dimensiones Longitudinales del Sistema Sifónico Instalado en Campo	164
Anexo 3 Puntos Referenciales para Elaboración de Diagramas de Presión....	165
Anexo 4 Escenario 01 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	166
Anexo 5 Escenario 02 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	170
Anexo 6 Escenario 03 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	174
Anexo 7 Escenario 04 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	178
Anexo 8 Escenario 05 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	182
Anexo 9 Escenario 06 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	186
Anexo 10 Escenario 07 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	190
Anexo 11 Escenario 08 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	194
Anexo 12 Escenario 09 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	198
Anexo 13 Escenario 10 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	202
Anexo 14 Escenario 11 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	206
Anexo 15 Escenario 12 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	210
Anexo 16 Escenario 13 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	214
Anexo 17 Escenario 14 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	218
Anexo 18 Escenario 15 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	222
Anexo 19 Escenario 16 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	226
Anexo 20 Escenario 17 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	230
Anexo 21 Escenario 18 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	234
Anexo 22 Escenario 19 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	238
Anexo 23 Escenario 20 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	242
Anexo 24 Escenario 21 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	246
Anexo 25 Escenario 22 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	250
Anexo 26 Escenario 23 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	254
Anexo 27 Escenario 24 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones	258
Anexo 28 Panel Fotográfico	262
Anexo 29 Permiso de uso de Instalaciones del Vivero de la Municipalidad de Breña	268

GLOSARIO

Bajante principal: Tubería vertical conectada al tramo final de un sistema sifónico, siendo la encargada de generar la energía potencial.

Bajante secundaria: Tubería vertical conectada al sumidero sifónico que descarga a un colector horizontal.

Bolsas de aire: Grandes burbujas de aire atrapadas en las tuberías que se forman gracias al agrupamiento de pequeñas burbujas de aire que ingresan al sistema.

Capacidad hidráulica: Hace referencia al máximo caudal posible admitido en un sistema sifónico.

Carga hidráulica disponible: Diferencia geométrica en la cota del punto más alto de un sistema sifónico (usualmente un sumidero sifónico) y el punto de descarga.

Colector principal: Tubería horizontal sin pendiente que recibe la descarga de los sumideros sifónicos y que descarga a la bajante principal.

Contenedor: Envase cuadrado de plástico que recibe el agua del sistema de bombeo sobre el cual se instaló el sumidero sifónico.

Escenario: Representa al sistema sifónico condicionado a una determinada longitud en la bajante principal, encontrándose en total 24 alturas de la bajante principal para su respectivo análisis.

Flujo a canal: Se refiere al flujo de agua que no logra copar la tubería en su totalidad.

Flujo a tubo lleno: Se refiere al flujo de agua que logra copar la tubería en su totalidad trabajando a presión.

Flujo anular: Se dice del flujo de agua en forma de anillo donde el agua va pegado a las paredes de la tubería formando un anillo y al centro se encuentra aire.

Manovacúmetro: Instrumento de medición de presión que puede medir presiones positivas y negativas.

Presión de vapor: Presión a la que el fluido se evapora.

Recorrido hidráulico: Se dice del recorrido que hace el agua desde un punto específico a otro en un sistema hidráulico que se usa para poder realizar el cálculo hidráulico.

Equilibrio del sistema: Refiere cuando los niveles de agua de los contenedores del experimento son estables.

Sumidero convencional: Accesorio que permite el ingreso de agua en un sistema de drenaje convencional, permitiendo adicionalmente el ingreso de aire al sistema.

Sumidero sifónico: Accesorio que permite el ingreso de agua en un sistema de drenaje sifónico y no permite la entrada de aire al sistema.

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

B	Ancho de la superficie de Flujo (m)
D	Diámetro de la tubería (m)
f	Factor de fricción de Darcy (adimensional)
F	Número de Froud (adimensional)
g	Gravedad (9.81 m/s ²)
h_{vp}	Presión de vapor del fluido (m)
h_f	Perdida de carga por longitud de tuberías (m)
h_k	Perdida de carga por accesorios (m)
H_0	Presión atmosférica del ambiente (m)
k	Rugosidad absoluta (m)
K	Factor de fricción de accesorios (m)
L	Longitud de la tubería (m)
P	Presión (m)
$Q1, Q2$ y $Q3$	Caudal correspondiente al sumidero 1, 2 Y 3 (L/s)
Q_{in}	Caudal entrante por las bajantes secundarias (l/s)
Re	Número de Reynolds
R.N.E.	Reglamento Nacional de Edificaciones
$S1, S2$ y $S3$	Sumidero 1, 2 Y 3
T_f	Tiempo de Cebado (s)
V_p	Volumen del colector y la bajante (m)
V	Velocidad del fluido (m/s)
z	Cota geométrica con un punto de referencia. (m)
γ	Peso Específico del agua.
σ	Índice de Cavitación (adimensional)

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de drenaje sifónicos son sistemas enfocados al transporte del drenaje pluvial en edificaciones de grandes áreas de techo, cuya característica principal es que funcionan a presión.

Actualmente en el Perú no se tiene ninguna referencia del drenaje pluvial sifónico en ninguno de sus reglamentos, incluyendo el Reglamento Nacional de Edificaciones. Al referirnos al drenaje pluvial en edificaciones, mayormente nos enfocamos en el diseño convencional que consiste en un flujo a canal en tuberías horizontales y un flujo anular en tuberías verticales que permiten que el aire permanezca dentro del sistema; sin embargo, en un sistema sifónico, se evita la entrada de aire logrando con ello que se pueda aprovechar al máximo la capacidad del sistema instalado.

Al ser los sistemas de drenaje sifónico una tecnología sin mucha aplicación en nuestro país, se tienen muchos vacíos en la comprensión de su funcionamiento, siendo la bajante principal, una de las partes que no son completamente entendidas se busca encontrar alguna relación especial o anomalía entre esta y el comportamiento general de un sistema sifónico con sumideros independientes a su máxima capacidad.

Las pruebas hidráulicas se desarrollaron en el Vivero Municipal de Breña, donde se construyó un sistema sifónico de 3 sumideros que se conectan entre sí para descargar a una bajante principal que variará su altura para evaluar su efecto en el sistema sifónico y en la confluencia de los sumideros instalados.

1.2. ANTECEDENTES REFERENCIALES

El drenaje sifónico es una tecnología medianamente nueva que ha venido evolucionando comprendiéndose mejor su funcionamiento. Para el presente estudio a continuación se muestran algunas referencias de los más resaltantes estudios relacionados con la presente investigación.

Arthur, S. y J. A. Swaffield, de la universidad “Heriot-Watt University (HWU)”, Edinburgo, Escocia, 1999. Realizaron un estudio usando un solo sumidero sifónico, donde el objetivo principal era poder comprender mejor el desarrollo del cebado del sistema sifónico. Teniendo como resultado de la investigación una serie de procesos necesarios para el completo cebado según se muestra a continuación:

- Flujo inicial entrante a la canaleta.
- Cebado de la bajante secundaria.
- Formación y movimiento de los saltos hidráulicos
- Despresurización del sistema.
- Sistema completamente cebado.

Estos eventos marcaron las bases para poder entender mejor el funcionamiento de los sistemas sifónicos; sin embargo, el estudio solo se limitaba al análisis de un solo sumidero sifónico.

Posteriormente **G.B. Wright junto a Arthur, S. y J. A. Swaffield** de la universidad “Heriot-Watt University (HWU)”, Edinburgo, Escocia, 2002. Estudiaron el comportamiento de un sistema de canaleta con dos sumideros sifónicos donde se realizaron las pruebas correspondientes y se verificó que el proceso de cebado del sistema sifónico era prácticamente el mismo que del experimento de un solo sumidero sifónico realizado anteriormente, con la diferencia de que éste resultaba más complejo debido al segundo sumidero.

Abdullah Öngören y Ralf Materna de La empresa Geberit Internacional A.G., Switzerland, 2006. Presentaron el estudio “Multi-phase flow characteristics of a siphonic roof drainage system under part load conditions”

El estudio realizado en el 2006 consistió de un solo sumidero que recorría 5.8 metros en horizontal para tener un bajante. Este sistema contó con 3 variaciones respecto a sus diámetros (DN56, DN63, y DN75), así como también la bajante varió en 2 valores, siendo estos de 5 m y de 10 m. Además, se tomaban datos de caudal velocidad y presión mientras se aumentaba el caudal.

Este estudio tenía como objetivo comprender mejor el sistema multifase del fluido (Agua y aire), especialmente tratando de encontrar una relación entre el aire y la velocidad efectiva medida en campo.

Del estudio se concluyó que para todos los casos la velocidad aumentaba gradualmente junto con el caudal hasta cierto punto y a partir de éste, la velocidad se mantenía constante mientras a pesar de que se aumentaba el caudal hasta llegar a su completa capacidad. Ese fenómeno se explica debido a que cuando el sistema se va cebando, se generan bolsas de aire y llegado al anterior punto mencionado, éstas se dispersan progresivamente en pequeñas burbujas de aire que en palabras del autor “la transición de estas burbujas a un régimen distribuidamente homogéneo es la causa de este fenómeno”

A pesar de los resultados obtenidos, estos solo aplicarían para un sistema sifónico de una sola entrada; no obstante, el fenómeno descubierto resulta vital para comprender mejor como se desenvuelve un sistema sifónico.

Lucke y Beckam, de la institución “University of South Australia (UniSA)”, Melbourne, Australia, 2010. Realizaron un experimento que consistía en un solo sumidero que recorría 12.41 metros para caer finalmente 3.95 metros. En este experimento se inyectó aire al sistema buscando comprender la influencia del aire en los sistemas sifónicos. Del estudio se concluyó que para ratios de aire/agua del 10% la capacidad del sistema se reduce en 16% y para ratios de 45% el sistema se reduce su capacidad un 40%.

Además, la presión del sistema aumenta y el factor de fricción “f” disminuye conforme aumentan los ratios de aire/agua aumentan.

Dentro de su investigación, encontró que las pérdidas de carga de dos codos instalados resultan con una variación considerable según las lecturas de presión. Esto se dio a pesar de que idealmente deberían tener las mismas condiciones hidráulicas, el autor explica que:

“Esto puede indicar que las pérdidas de carga de los codos son afectadas por las presiones del sistema”

Kieran J. Williams de la institución “The University of Sheffield”, Reino Unido, 2016 Presento la tesis doctoral “Experimental Study of Multiple Outlets in a Siphonic Roof Drainage System”

Este estudio experimental se basó en un tejado que descarga a una canaleta de 34 metros donde se conectan sumideros sifónicos y descargan a un depósito. Donde se mantuvo fijo el sistema (dimensiones de tuberías y alturas) variando los caudales de entrada para entender mejor el funcionamiento de estos sistemas a presión negativa con 3 sumideros en una canaleta. El diseño previsto asumió que el caudal de los tres sumideros debería ser el mismo.

De la investigación se logró demostrar visualmente el proceso de cebado del sistema sifónico, además de no encontrar una proporcionalidad constante entre los caudales ingresados a los 3 sumideros sifónicos durante el proceso de cebado.

Además, se realizó una comparación con un software de cálculo donde se encontró diferencias con los resultados experimentales, el autor explica que esto sucede debido a que el software asume que el sistema se encuentra en un flujo homogéneo libre de aire y parte del error es generado por la inexactitud de los factores de fricción accesorios junto con posibles imperfecciones en la instalación.

1.3. PLANEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

1.3.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:

La realidad nacional referente al drenaje pluvial en edificaciones de grandes áreas de techo presenta importantes deficiencias. Las normativas nacionales como el R.N.E. IS0.10 nos brindan criterios basados en un sistema de drenaje que se diseña para que sus tuberías horizontales trabajen como canal a presión atmosférica, y las bajantes de drenaje bajo un flujo anular. Si bien es cierto que este tipo de diseños es funcional, conlleva a gastos innecesarios al usar diámetros de tuberías más grandes de las que se debería requerir y

a la gran cantidad de bajantes de drenaje pluvial que se requieren instalar gracias a la pendiente mínima necesaria para su funcionamiento.

Frente a ello, se presenta una alternativa de diseño conocida como los sistemas de drenaje sifónico, estos sistemas tienen la cualidad de evitar que el aire ingrese a las tuberías gracias a los sumideros sifónicos aprovechando así todo el espacio disponible por las tuberías. Al lograr evitar la entrada de aire estos sistemas pueden transportar grandes volúmenes de agua en poco tiempo usando el efecto sifón.

El sistema sifónico es una tecnología relativamente nueva que se viene desarrollando en mayor medida en el extranjero. Para que este sistema funcione adecuadamente se deben tener en cuenta varios factores, uno de ellos se refiere a la bajante principal de un sistema de drenaje sifónico, este elemento es el encargado principal de poder generar la diferencia de nivel y con ello el arrastre hidráulico necesario para generar el efecto sifón; sin embargo, no se le brinda la importancia necesaria para entender mejor el desenvolvimiento del mismo en un sistema sifónico con sumideros independientes.

1.3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

Ante la necesidad de la comunidad de ingenieros Sanitarios del Perú de poder incursionar en nuevas tecnologías referente al drenaje pluvial en edificaciones y a brindar un mejor entendimiento de la funcionabilidad de la bajante principal de un sistema de drenaje sifónico es que la presente investigación trata de abordar el estudio del comportamiento hidráulico en su máxima capacidad de un sistema de drenaje sifónico con tres sumideros sifónicos independientes que se unen en un colector horizontal para finalmente descargar con dos codos de 45° a una bajante principal que variará en altura para evaluar su influencia en el sistema donde se contrastará los datos experimentales con los calculados para un

mejor entendimiento y con ello brindar conclusiones que sirvan como aporte para futuros investigadores de sistemas de drenaje sifónicos.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Este estudio surge debido al constante crecimiento urbano en el Perú, especialmente de edificaciones de grandes áreas de techo, los cuales requieren un sistema de drenaje pluvial que puedan transportar grandes volúmenes de agua eficientemente.

En este escenario los sistemas de drenaje sifónico se plantean como una alternativa importante donde se busca comprender a detalle el funcionamiento del mismo, siendo la bajante principal uno de los elementos más importantes y el objeto de estudio de la presente investigación.

La presente investigación brindará beneficios técnicos mostrando la influencia de la bajante principal en el comportamiento hidráulico de los sistemas sifónicos y ayudando a crear un mejor entendimiento sobre cómo funcionan estos.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje sifónico con sumideros independientes a diferentes longitudes de la bajante principal.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la relación entre la altura de la bajante de drenaje principal con la capacidad del sistema para transportar agua experimental y calculada.
- Evaluar la relación entre la altura de la bajante de drenaje principal con las presiones tomadas de los manovacúómetros experimental y las presiones calculadas.

- Evaluar la relación entre el porcentaje de error de los datos experimentales de caudal respecto a los datos del cálculo hidráulico con la altura de la bajante.
- Determinar las velocidades experimentales a las cuales el sistema instalado aún trabaje como sistema sifónico en su totalidad.

1.6. HIPÓTESIS

El sistema de drenaje sifónico instalado trabajará a tubo lleno y su capacidad hidráulica se reducirá progresivamente conforme se reduce la longitud de la bajante principal.

1.7. VARIABLES

1.7.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

- Material de las tuberías. (Fija)
- Distribución e instalación de tuberías. (Fija)
- Cantidad de sumideros sifónicos (Fija)
- Altura de la bajante de drenaje principal (Variable)

1.7.2. VARIABLES DEPENDIENTES

- Caudal
- Presión

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. SISTEMAS DE DRENAJE PLUVIAL EN EDIFICACIONES

Los sistemas de drenaje pluvial tienen como finalidad evitar posibles daños materiales y humanos que las inundaciones provocadas por lluvias podrían causar. Para este fin se diseñan sistemas que puedan transportar el drenaje pluvial hacia algún destino final que no dañe la edificación o a sus ocupantes. Estos pueden transportar el agua proveniente de las lluvias que caen sobre los edificios utilizando sistemas compuestos por sumideros, canaletas, tuberías y demás accesorios.

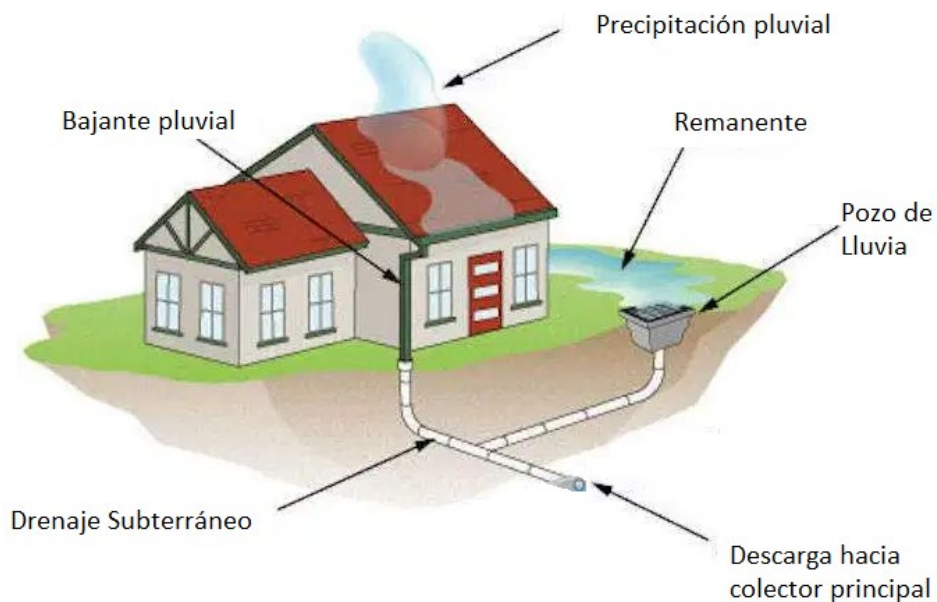


Figura 2.1 Sistema de drenaje pluvial en edificaciones

Actualmente existen dos tipos de sistemas que se usan para el drenaje pluvial en edificaciones. El sistema drenaje convencional es el más antiguo y el de mayor popularidad debido a su simplicidad respecto en su instalación y diseño. Sin embargo, el sistema de drenaje sifónico se presenta como una alternativa que ofrece ciertas ventajas sobre su antecesor que serán más detalladas en el ítem 2.2.

2.1.1. SISTEMA DE DRENAJE CONVENCIONAL

El sistema convencional usa la fuerza gravitatoria para transportar las precipitaciones pluviales mediante el uso de sumideros, redes de colección, bajantes, colectores y conexión al colector principal pública.

Su principal característica radica en que el sistema permite el ingreso del aire a las instalaciones hidráulicas (Ver Figura 2.2) originando con ello que el sistema no pueda usar toda el área de la tubería para transportar el agua, sino, solo se limita a una parte mientras que lo restante es ocupado por aire.

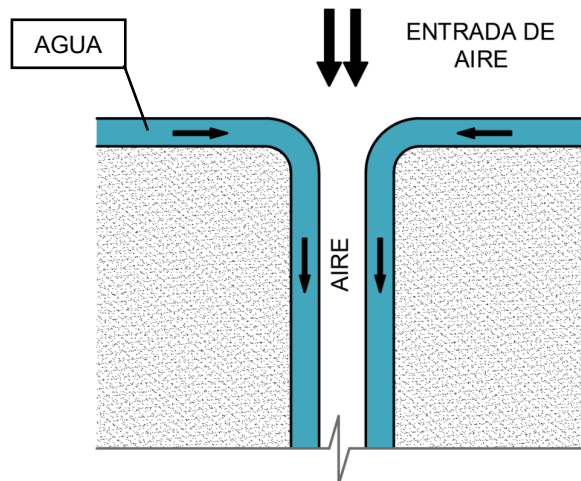


Figura 2.2 Ingreso del agua al drenaje convencional

El ingreso del aire genera que las tuberías horizontales trabajen como canales, los cuales requieren una pendiente mínima para que el sistema sea funcional. Las pendientes junto con el afán de evitar interferencias con otras especialidades causan que se instalen una gran cantidad de bajantes y con ello grandes longitudes de tubería enterrada. (Ver Figura 2.3)

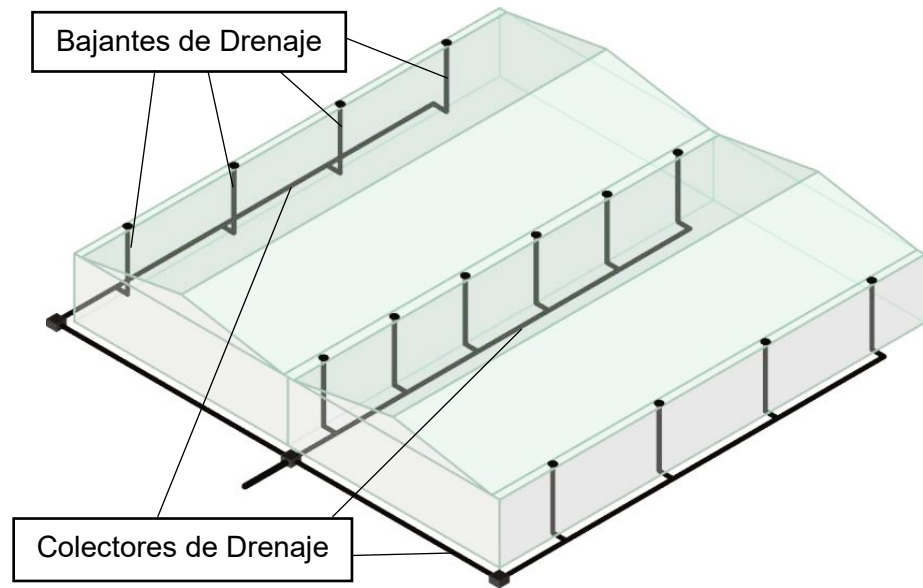


Figura 2.3 Sistema de drenaje convencional en edificaciones

Para este tipo de sistemas, los caudales provenientes de los sumideros se unen en los niveles más bajos de la edificación siendo en muchos casos el nivel de terreno tal y como se muestra en la Figura 2.3.

2.1.1.1. Limitaciones del Sistema Convencional

Las principales limitaciones de este sistema se pueden enumerar de la siguiente manera:

- **Pendiente:** La pendiente limita poder instalar tuberías de grandes longitudes debido a la variación de la cota de la tubería. Por tanto, es necesario proyectar varias bajantes cada cierta longitud de tubería.
- **Dimensiones de tuberías:** En un sistema por gravedad no se aprovecha las dimensiones de la tubería en su totalidad, por tanto, en su diseño siempre se instalará tuberías de dimensiones más grandes de las necesarias.
- **Costo:** Teniendo en cuenta que el sistema fuerza al diseñador a usar tuberías de dimensiones más grandes

y proyectar muchas bajantes se genera un sobrecosto respecto a un sistema sifónico.

2.1.2. SISTEMA DE DRENAJE SIFÓNICO

Este sistema se encuentra más detallado en el ítem 2.2.

2.2. SISTEMA DE DRENAJE SIFÓNICO

El drenaje sifónico al igual que el drenaje convencional usa la fuerza gravitatoria para poder transportar el drenaje pluvial usando sumideros, bajantes secundarias, colectores y una bajante principal.

La principal característica del drenaje sifónico es que en este sistema se aprovecha la máxima capacidad de las tuberías. Esto se logra evitando que el aire entre al sistema mediante un sumidero sifónico y con ello se genere un flujo homogéneo de solo agua de lluvia según se muestra en la Figura 2.4.

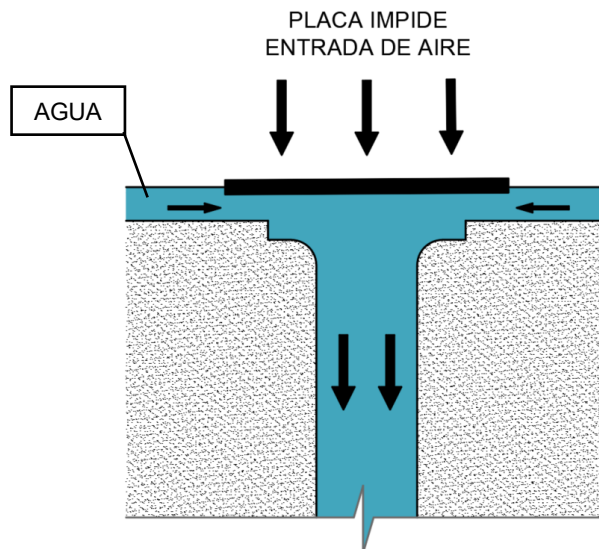


Figura 2.4 Ingreso del agua al drenaje sifónico

El sumidero sifónico tiene la función de evitar la entrada de aire al sistema sifónico, su principal componente es una placa sobre la entrada de caudal que cumple una función similar a una placa vortex, la cual es usada para

evitar la entrada de aire a las líneas de succión de diversos sistemas de bombeo.

Teniendo en cuenta la ausencia de aire en el sistema sifónico, se desarrolla la idea de un sistema que trabaja a presión. En este escenario la ecuación principal para poder diseñar este sistema vendría a ser la Ecuación de Bernoulli la cual se desarrolla a mayor detalle en el ítem 2.2.2.1.

Teniendo como base un sistema que trabaja a presión a tubo lleno, se podrán usar diámetros de menor longitud en comparación con los usados en un sistema de drenaje convencional. Siendo el caso particular de la presente investigación donde se demuestra que una tubería de $\varnothing 2 \frac{1}{2}$ " es capaz de transportar 13.89 L/s con una altura de 2.66 metros en la bajante principal y que según la normativa peruana en sus diferentes reglamentos que hacen referencia al drenaje pluvial convencional como la NTS 110,113,119 se recomienda una tubería de $\varnothing 4$ " para un caudal de 11.67 L/s y de $\varnothing 5$ " para un caudal de 22.22 L/s. Con estos datos se puede apreciar una gran diferencia en los diámetros, siendo los usados para drenaje convencional de mayor diámetro que los usados para el drenaje sifónico.

Además, al trabajar a presión no se requieren pendientes y con ello se reducirían la cantidad de bajantes necesarias para el correcto funcionamiento del sistema. (Ver Figura 2.5)

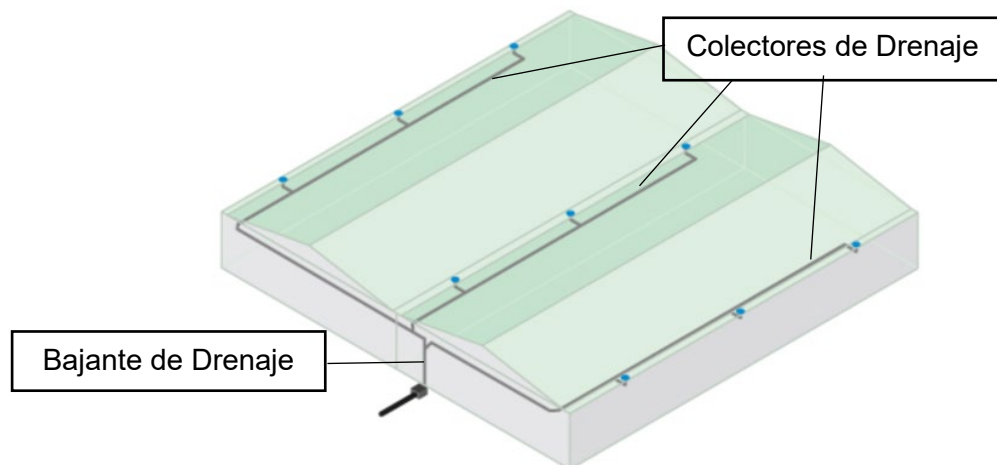


Figura 2.5 Sistema de drenaje sifónico en edificaciones

Fuente: Modificado de Catálogo Rainplus Italsan - 2017

En este tipo de sistemas, los caudales se pueden unir en los niveles superiores reduciendo considerablemente la cantidad de bajantes necesarias para el correcto desarrollo del sistema.

2.2.1. ETAPAS DEL PROCESO DE CEBADO DE SISTEMAS SIFÓNICOS

Para que cualquier sistema sifónico funcione a su máxima capacidad, este tiene que encontrarse totalmente cebado. Para poder llegar a ese punto, se tienen que pasar por una serie de etapas.

Un estudio experimental preliminar logró identificar las etapas previas a un cebado completo en un sistema sifónico. (Wright et al. 2002; Arthur et al. 2005; Arthur and Wright 2007)

2.2.1.1. Flujo inicial entrante a los contenedores:

Mientras la canaleta o contenedor del sumidero sifónico se comienza a llenar, la presión en todo el sistema es equivalente a la presión atmosférica. En este punto la tubería vertical conectada al sumidero trabaja bajo un flujo anular y la tubería horizontal lo hace bajo un flujo sub crítico.

Es decir que el nivel del agua aún no es lo suficientemente alto para llegar a la placa del sumidero sifónico; por tanto, aún encuentra trabajando como un sumidero convencional.

2.2.1.2. Cebado de la bajante secundaria

El conjunto de tuberías verticales que funciona como enlace del sumidero sifónico a la tubería horizontal se denomina bajante secundaria, esta bajante tiene un rol importante en el desarrollo del sistema; debido a que, si no se logra cebar, la capacidad hidráulica del sistema se vería afectada considerablemente.

El cebado de esta bajante secundaria, lograría sellar el sistema sifónico, lo cual implicaría que sería factible poder purgar el aire del sistema y lograr un cebado en su totalidad.

Según (Arthur and Wright 2007) se encuentran 4 factores cruciales para el diseño de las bajantes secundarias:

- Referente al diámetro de la bajante secundaria, es recomendable que su diámetro no exceda en más del 10-20% al diámetro del sumidero sifónico.
- Referente a los accesorios en la bajante, se recomienda el uso de codos para poder generar resistencia hidráulica y poder lograr un completo cebado.
- Referente a la longitud de la bajante, estas deberán tener suficiente altura para poder generar una razonable tasa de descarga (Caudal).
- Referente a la tubería horizontal, esta longitud se determinará en el tiempo de llenado del sistema al ofrecer resistencia hidráulica.

2.2.1.3. Formación y movimiento de saltos hidráulicos

Inicialmente el flujo en el ramal horizontal es subcrítico; sin embargo, mientras la bajante secundaria se va cebando, el flujo del ramal horizontal pasa a ser supercrítico. Es debido a este cambio que se generan los saltos hidráulicos en el ramal horizontal, justo al final de la unión del ramal secundario, y conforme aumenta el flujo, estos saltos hidráulicos se van moviendo aguas arriba y aumentan de tamaño mientras lo hacen. (Ver Figura 2.6)

2.2.1.4. Formación y propagación del flujo a tubo lleno.

Los saltos hidráulicos ya formados en algún momento llegan a tener un tamaño similar al diámetro de la tubería horizontal logrando un sellado parcial que purgaría la mayor cantidad de aire del sistema mientras se propaga aguas abajo. Según Arthur and Swaffield, este proceso se genera en menor medida aguas arriba de la unión del ramal a la tubería horizontal.

2.2.1.5. Despresurización del sistema

Cuando la tubería horizontal empieza a trabajar a tubo lleno llegando a la bajante principal, el sistema se empieza a despresurizar debido a que la masa de agua que baja por la bajante genera un arrastre, conllevando con ello a que se incremente el flujo entrante del sistema.

2.2.1.6. Parcial represurización del sistema

Cuando el sistema se empieza a cebar en su totalidad, siempre quedan algunas bolsas de aire en su interior, que posteriormente son arrastradas fuera del sistema. Cuando estas bolsas de aire pasan por la tubería vertical, el sistema sufre una pequeña represurización debido a la menor densidad de las mismas.

2.2.1.7. Sistema completamente cebado.

Una vez que todas las bolsas de aire fueron retiradas del sistema, se puede decir que el sistema se encuentra totalmente cebado, en este punto el sistema se despresuriza un poco y posterior a ello se mantiene constante durante el tiempo que ocurre el evento.

Es necesario mencionar que incluso en estos casos se puede encontrar un porcentaje de aire mínimo en el sistema.

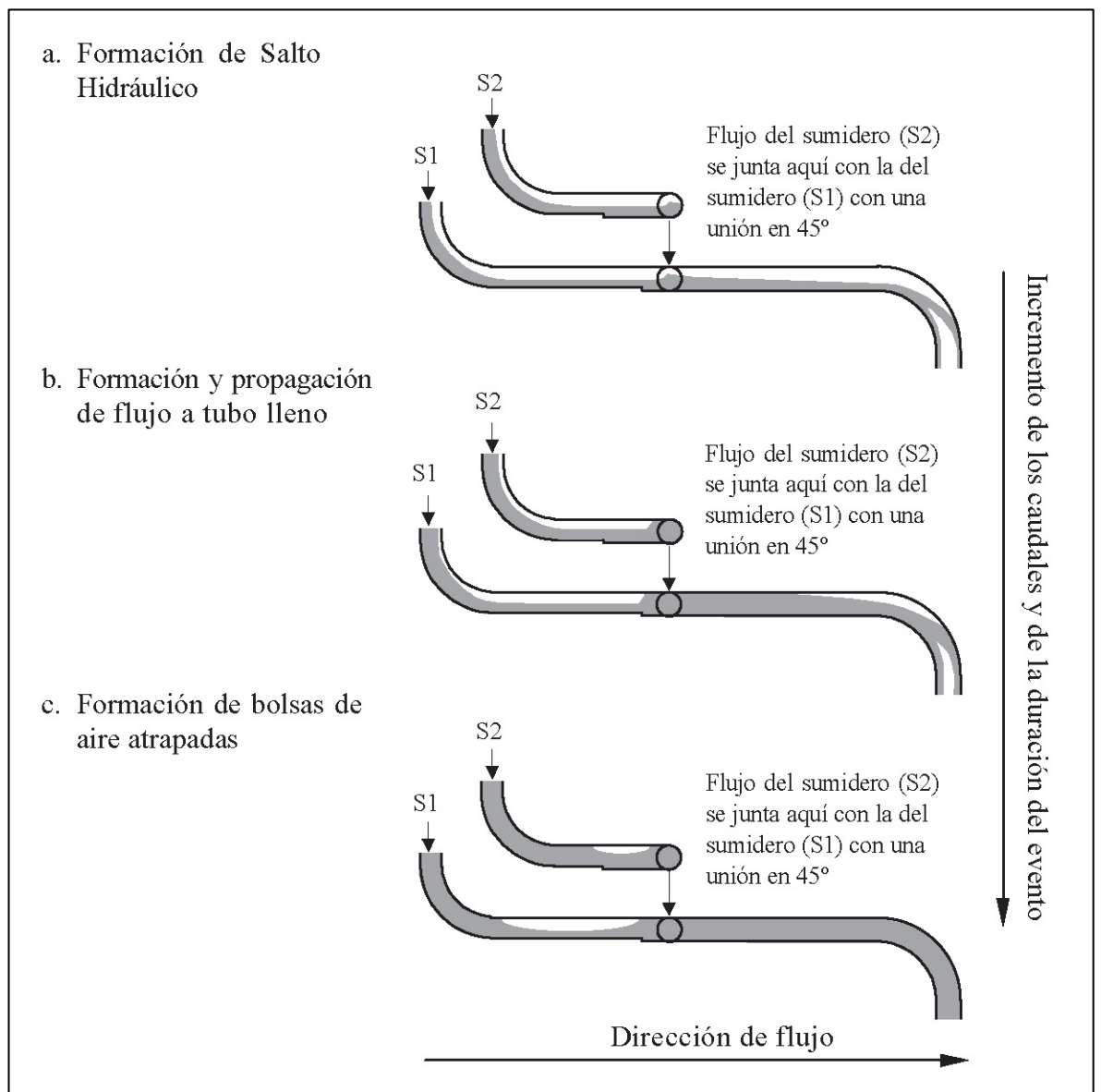


Figura 2.6 Proceso de cebado de un sistema sifónico.

Fuente: Modificado de Arthur and Wright (2012)

2.2.2. CALCULO HIDRÁULICO DEL SISTEMA SIFÓNICO

2.2.2.1. Diseño Hidráulico

Un sistema sifónico se diseña para un evento de precipitaciones específico, siendo este el caso más extremo que se pueda estimar

según los datos pluviométricos de la zona y la arquitectura de la edificación en la que se quiera proyectar.

Teniendo en cuenta que el sistema trabaja a tubo lleno, se recurre el uso de la fórmula de Bernoulli para el desarrollo del mismo.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2$$

Donde:

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

Esta fórmula representa el equilibrio de energía que existe entre dos puntos que pertenecen al mismo sistema, para efectos de diseño la cota del sumidero sifónico es considerado el primer punto y la cota final de la bajante, el segundo punto.

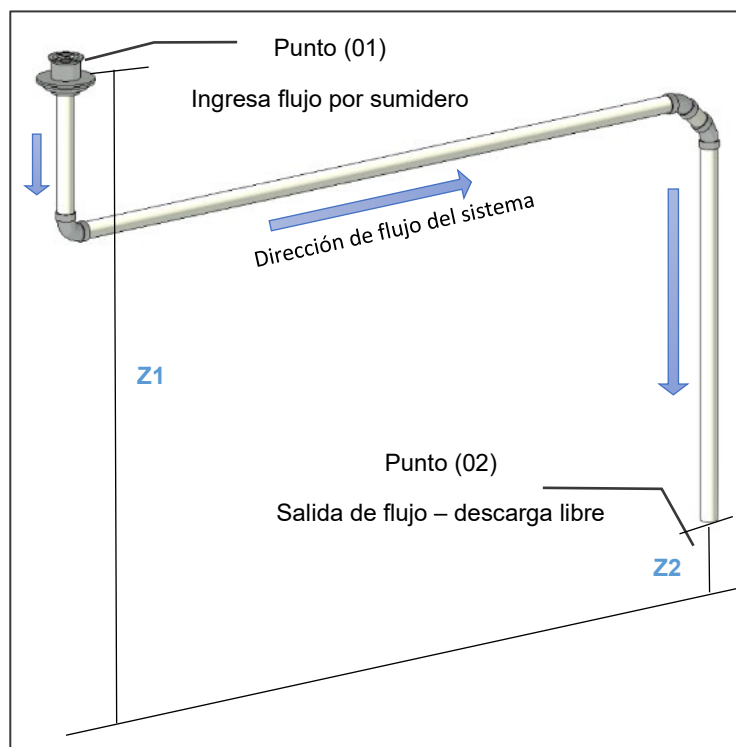


Figura 2.7 Diagrama de sistema sifónico

Teniendo en cuenta lo mostrado en la Figura 2.7, la fórmula de Bernoulli en condiciones de flujo dinámico incluyendo pérdidas de energía por fricción a lo largo de las tuberías y accesorios resultaría en:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 - hf - hk = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2$$

Donde:

- hf = Pérdida de energía por fricción.
- hk = Pérdida de energía localizada por accesorios.

Se debe tener en cuenta que:

- La presión en el punto 01 y 02 es igual a la presión atmosférica.

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} = \text{Presión atmosférica}$$

- La velocidad con la que el agua ingresa al sumidero se despreciaría debido a que la velocidad de aproximación es cero.

$$\frac{V_1^2}{2g} = 0$$

Con las modificaciones realizadas, la ecuación modificada para este fin resulta en:

$$z(1) - z(2) - hf - hk = \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\Delta H - hf - hk = \frac{V_{L9}^2}{2g}$$

Donde:

- ΔH = Carga hidráulica disponible

Con el fin de obtener pérdidas por fricción en las tuberías se hace uso de la fórmula de Darcy Weishbach según:

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

Donde:

- f = Factor de fricción de Darcy (adimensional)
- 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 (m)

El factor de fricción Darcy se puede calcular usando la fórmula de Coolebrook and 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 (adimensional)
- k = Rugosidad absoluta (m)
- D = Diámetro de tubería (m)
- Re = Reynolds (adimensional)

Resolver la anterior fórmula puede ser complicada al necesitarse de diversas iteraciones, por lo cual se puede optar por la fórmula de Swamee Jain que a pesar de no ser exacta solo presenta un 1.5% de error en su resultado.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Para obtener las pérdidas de energía por accesorios, se emplea la siguiente fórmula:

$$hk = K \frac{V_1^2}{2g}$$

Donde:

- hk = Pérdida de energía localizada (m)
- K = Factor de fricción (adimensional)
- V = Velocidad del fluido (m/s)
- g = Gravedad (m/s²)

2.2.2.2. Balanceo del Sistema

Los sistemas sifónicos deben tener presiones de diseño equilibradas en todos los sumideros (presiones cercanas a cero ligeramente negativas en todos los sumideros) para que bajo condiciones de funcionamiento estos tengan la capacidad hidráulica que se espera de ellos. De no suceder de esta manera, algunos sumideros podrían estar sub dimensionados o sobredimensionados, lo que implicaría el ingreso de aire al sistema y esto generaría que el cebado logrado se pierda y con ello el sistema reduciría su capacidad total.

Para efectos de diseño, inicialmente se tienen los siguientes datos:

- Valores de caudal a los cuales se quiere diseñar el sistema
- La carga hidráulica disponible del sistema

$$\Delta H - hf - hk = \frac{V_{L9}^2}{2g}$$

Los únicos valores por definir serían los diámetros de las tuberías y los coeficientes de fricción de los accesorios, para ello se debe encontrar la mejor configuración con la que la ecuación sea lo más cercana a la real.

Según la norma británica BS8490:2007, la presión de diseño en los sumideros tiene permitida una diferencia negativa máxima de 1m o del 10% de la carga hidráulica disponible que tenga el sistema a

diseñar (siendo lo ideal obtener una presión de cero en los sumideros). ASPE (2006) recomienda un máximo de 0.5 m o el 10% de la carga hidráulica disponible.

Este tipo de diseños tienen restricciones, dentro de ellos se pueden señalar algunas:

- Las tuberías tienen diámetros comerciales, por lo cual no se puede escoger un diámetro ideal.
- Los factores de fricción de accesorios presentan errores respecto a la pérdida de energía real, sin mencionar que al aplicar la fórmula se interpreta que la pérdida es localizada, cuando la pérdida en estos casos ocurre durante todo el recorrido de los accesorios.
- Los accesorios disponibles en el mercado son limitados.
- Es inevitable que el aire entre al sistema en pequeñas cantidades, teniendo esto como consecuencia una alteración del fluido en el sistema pasando a ser un sistema mixto, el cual la Fórmula de Bernoulli no considera.
- Cantidad excesiva de iteraciones para obtener un balance perfecto, pudiendo obtener un resultado mucho más rápido con un margen de error aceptable.

2.2.2.3. Velocidades Mínimas

La velocidad del fluido es vital para poder garantizar un funcionamiento adecuado del sistema, dentro de las principales razones de su importancia en su diseño se tienen:

- Remover el aire del sistema
- Transportar bolsas de aire en la tubería horizontal
- Autolimpieza del sistema

Para remover el aire del sistema es necesario que se generen los saltos hidráulicos. Con ello en mente proponen usar el número de

Froud como parámetro, asegurando que su valor se adecue a un flujo supercrítico.

$$F = \sqrt{\frac{BV^2}{gA}} \geq 1.5$$

Donde:

- $F =$ Numero de Froud (adimensional)
- $B =$ Ancho de la superficie de flujo (m)

La velocidad necesaria para transportar las bolsas de aire según Lauchlan et al (2005) para líneas sin inclinación se da según la siguiente fórmula.

$$0.484 \leq \frac{V}{\sqrt{gD}} \leq 0.638$$

Donde:

- $V =$ Velocidad del fluido (m/s)
- $D =$ Diámetro de tubería (m)

Además, la norma británica BS8490:2007 brinda como referencia una velocidad mínima de 1 m/s para las bajantes secundarias con el fin de remover el aire de las tuberías y de autolimpieza, también menciona una velocidad mínima de 2.2 m/s para la bajante principal para promover un cebado eficiente.

2.2.2.4. Mínima Presión

En un sistema de drenaje sifónico, las presiones pueden llegar a tener valores negativos, por lo cual las tuberías tienen que estar diseñadas para poder soportar estos valores.

Al tener presiones negativas, se puede correr el riesgo de que el fluido alcance la presión de vapor y con ello se genere la cavitación en el sistema y con ello el colapso del sistema.

El índice de cavitación se rige por la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{2g(h + H_0 - h_{vp})}{V^2}$$

Donde:

- h = Presión relativa en el punto específico (m)
- H_0 = Presión atmosférica del ambiente (m)
- h_{vp} = Presión de vapor del fluido (m)
- V = Velocidad del fluido (m/s)
- σ = Índice de Cavitación (adimensional)

La presión atmosférica a 0 metros sobre el nivel del mar es de 760 mmHg; sin embargo, este valor disminuye conforme el nivel sobre el mar aumenta.

La norma británica BS8490:2007, para tuberías rígidas nos brinda como recomendación un valor mínimo del índice de cavitación de 1.2 (valores menores a éste, causarían cavitación en el sistema); además, para tuberías plásticas como polipropileno y otros materiales similares se recomienda usar un valor mínimo del índice de cavitación de 0.6.

La presión de vapor varía respecto a la temperatura del agua según:

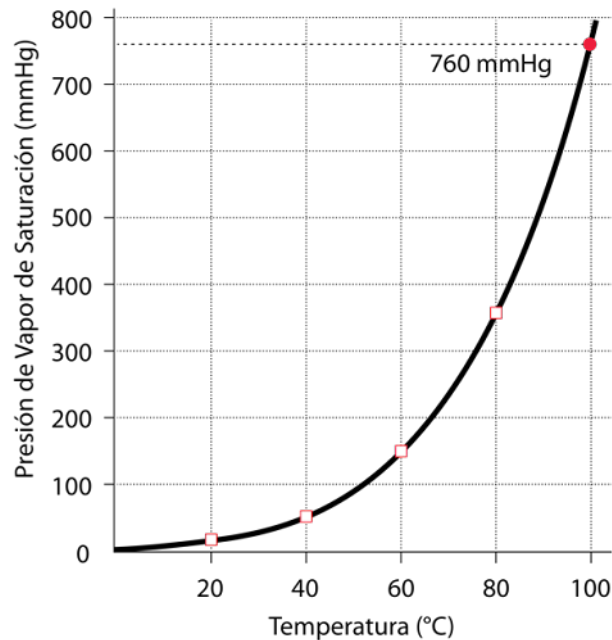


Gráfico 2.1 Diagrama de Presión de vapor vs Temperatura

Fuente: "<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Kinetic/watvap.html#nd>"

2.2.2.5. Tiempo de Cebado:

El tiempo de cebado de un sistema sifónico es crucial ya que para que el sistema funcione a su máxima capacidad tiene que llegar a purgar el aire de su sistema y éste toma un tiempo considerable.

Actualmente aún no se tiene un método adecuado para determinar el tiempo de cebado de un sistema sifónico; sin embargo, la norma británica BS8490:2007 nos muestra una fórmula para este cálculo.

$$T_f = \frac{1.2V_p}{Q_{in}}$$

Donde:

- T_f = Tiempo de cebado (s)
- V_p = Volumen del colector y la bajante (m^3)
- Q_{in} = Caudal entrante por las bajantes secundarias (m^3/s)

2.2.3. LIMITACIONES DEL SISTEMA SIFÓNICO

A pesar de que el sistema sifónico muestra un rendimiento mucho mejor que un sistema de drenaje convencional (gravedad), este presenta algunas desventajas mencionadas líneas abajo.

2.2.3.1. Diseño Complejo

Al trabajar en este sistema es necesario generar un balanceo en el sistema, esto se resuelve mediante el uso de iteraciones consecutivas que son realizadas por software especializado o en su defecto se puede hacer el procedimiento manualmente; sin embargo, este tomaría demasiado tiempo.

2.2.3.2. Mantenimiento

Si no se realiza un mantenimiento periódico, aumenta el riesgo de que las tuberías y los sumideros al ser de dimensiones pequeñas, se atoren, y con ello puedan generar un cambio radical en el funcionamiento en el sistema diseñado y en casos extremos puede generar una presión negativa excesiva y la tubería podría colapsar.

2.2.3.3. Defectos en Materiales y en su Instalación.

Los accesorios y tuberías instaladas en estos sistemas, muchas veces tienen ciertos defectos que pueden provocar algunas variaciones respecto al diseño previo; e incluso, durante la instalación del sistema se tenga que modificar forzosamente algún recorrido de tuberías obligando al sistema a trabajar con una variación no contemplada en su diseño.

CAPÍTULO 3: MARCO LEGAL:

3.1. NORMATIVA NACIONAL PERUANA

Actualmente en el Perú no se tiene normado ni se hace alguna referencia en sus diferentes reglamentos respecto al drenaje sifónico; sin embargo, si se menciona el diseño en sistemas de drenaje convencional.

I.S.0.10 del Reglamento Nacional de Edificaciones: Se menciona criterios básicos referentes a la recolección de drenaje pluvial para edificaciones por gravedad (sistema convencional).

3.2. NORMATIVA INTERNACIONAL

En las siguientes normativas se mencionan criterios referentes al diseño y al cálculo de los sistemas de drenaje sifónico.

BS 08490-2007 - British Standards Institute: Se menciona diseño hidráulico, criterios de diseño, mantenimiento del sistema y demás información eferente al tema

UNE EN 1253 – Normalización Española: Se menciona diseño hidráulico, criterios de diseño, fases del proceso sifónico y relación de caudal y altura de agua en otros.

ASME A112.6.9 - American Society of Mechanical Engineers: Contiene criterios referentes al drenaje sifónico, tanto de diseño como de cálculo.

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN (CAMPO) - I

El presente estudio experimental se desarrolló dentro de las instalaciones del Vivero Municipal de Breña, ubicado en Ca. Huancabamba 120, Distrito de Breña, Provincia de Lima, Departamento de Lima, Perú.

Para lograr los objetivos propuestos, se diseñó un sistema que consiste en una red de tres sumideros sifónicos que se conectan en un colector horizontal y posteriormente descargan hacia una bajante de drenaje con una conexión de 2 codos de 45°. Cada uno de estos sumideros sifónicos es alimentado por una bomba independiente que servirá para poder determinar los caudales que ingresan a cada sumidero. Respecto a la presión, se consideraron dos manovacúómetros instalados en el colector horizontal en puntos clave para un mejor entendimiento.

En el presente estudio experimental se plantea ir reduciendo la altura de la bajante principal cada 10 cm y con ello evaluar el comportamiento del sistema sifónico mediante los valores obtenidos de caudal y de presión para finalmente ser contrastados con los valores obtenidos del cálculo teórico detallado en el capítulo 6 de la presente investigación.

Para mejor comprensión de la metodología de campo del estudio experimental, se plantean las siguientes 5 etapas:

- Desarrollo y Configuración del sistema sifónico.
- Preparación de condiciones necesarias para las pruebas.
- Inicio de la prueba y estabilización del sistema.
- Medición de Presiones y Caudales.
- Reducción de la altura de la bajante principal del sistema.

4.1. DESARROLLO Y CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA SIFÓNICO.

Para un mejor entendimiento del sistema, se plantea la división de la configuración de la tesis experimental en:

- Sistema sifónico: Se define como el sistema al cual se estudiará, siendo conformado por 3 sumideros sifónicos conectados entre sí en un colector horizontal que descarga finalmente gracias a una bajante principal.
- Sistema de soporte: Se define como el sistema que hará posible la funcionalidad del “Sistema sifónico” suministrando agua a cada uno de los contenedores con sumideros instalados y recirculando el agua recibida por la bajante principal.

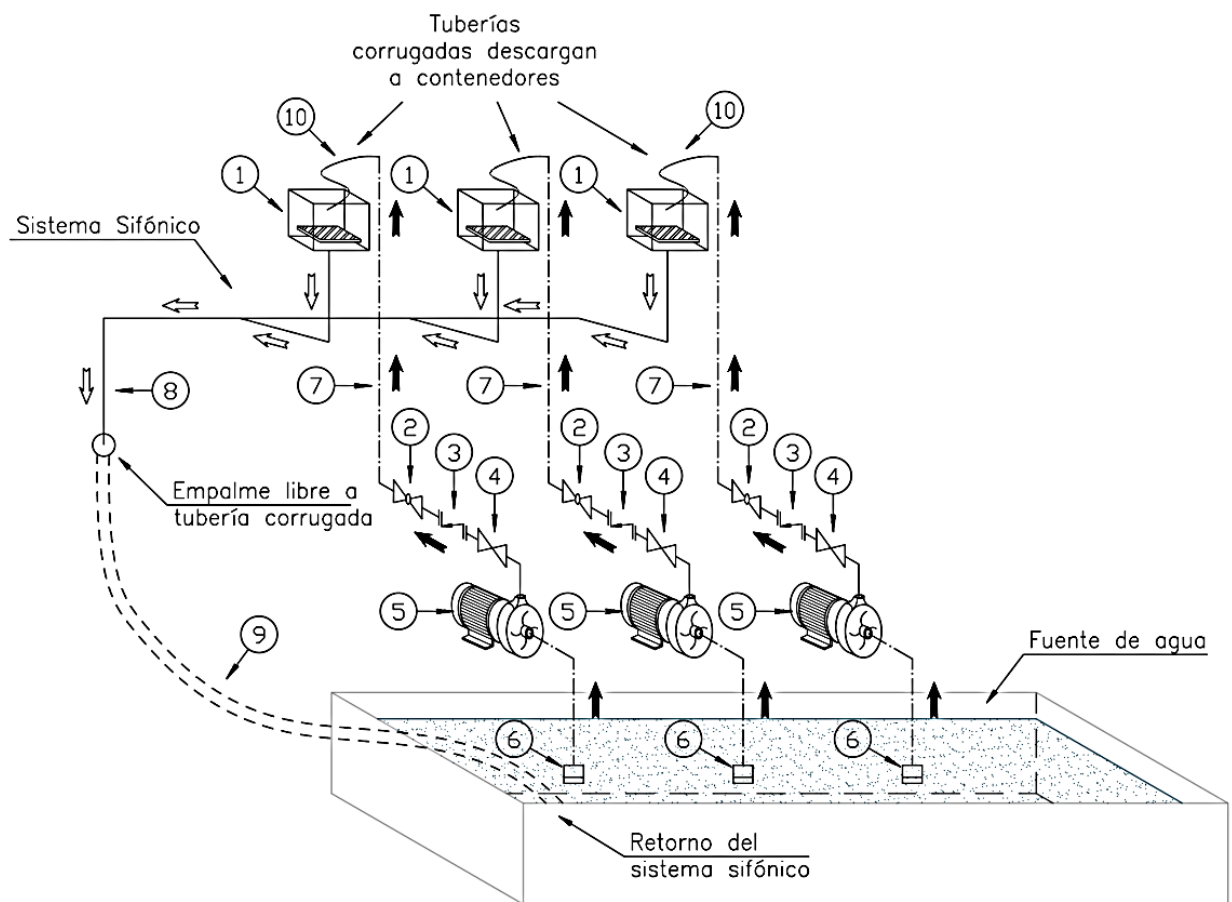


Figura 4.1 Diagrama general de la tesis experimental

En la Figura 4.1 se muestra de forma general al sistema sifónico y el sistema de soporte, para un mejor entendimiento de los componentes de ambos sistemas se recomienda ver la Tabla 4.1.1.

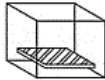
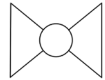


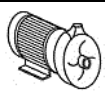


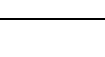


N.º ITEM	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN
01		Contenedor con sumidero sifónico
02		Válvula de bola
03		Válvula Check horizontal
04		Válvula compuerta
05		Bomba Centrífuga de 2HP
06		Válvula de pie
07		Línea de impulsión
08		Línea de drenaje del sistema sifónico
09		Manguera corrugada de Ø4"
10		Manguera corrugada de Ø2"

Tabla 4.1.1 Leyenda del diagrama general de la investigación

4.1.1. SISTEMA DE SOPORTE:

El sistema de soporte consiste en un sistema de impulsión y recirculación de agua, siendo el de impulsión conformado por 3 sistemas idénticos, cada uno de ellos conformado por una bomba centrífuga de 2 HP y válvulas de control, finalmente una conexión a una manguera corrugada de Ø2" que descargará en un contenedor.

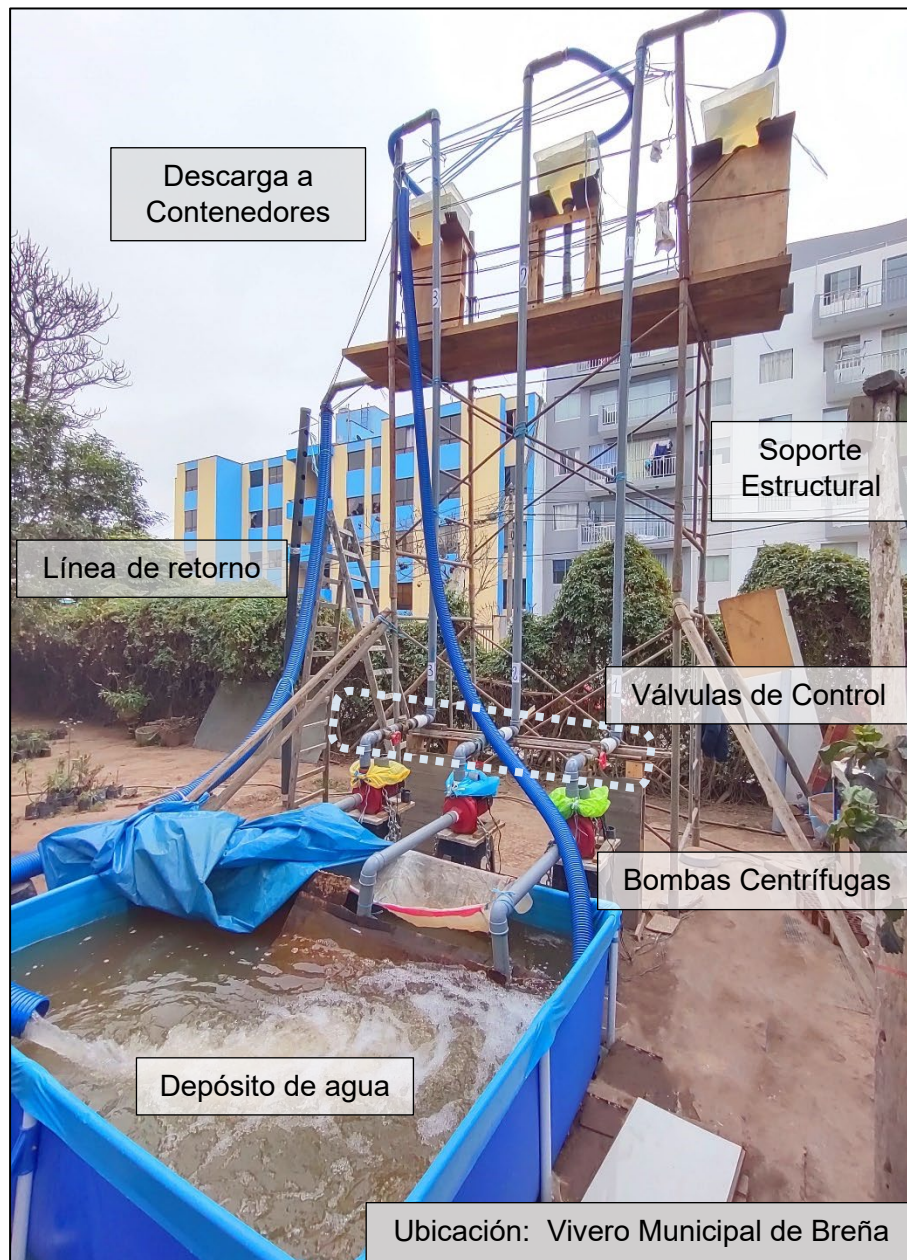


Figura 4.2 Vista esquemática de la instalación experimental

4.1.1.1. Depósito de Agua:

Se usó una piscina armable como depósito de agua, el cual consta de una altura de 58 cm, 2.32 m de largo y 2.11 m de ancho, teniendo en total una capacidad de 2000 litros.

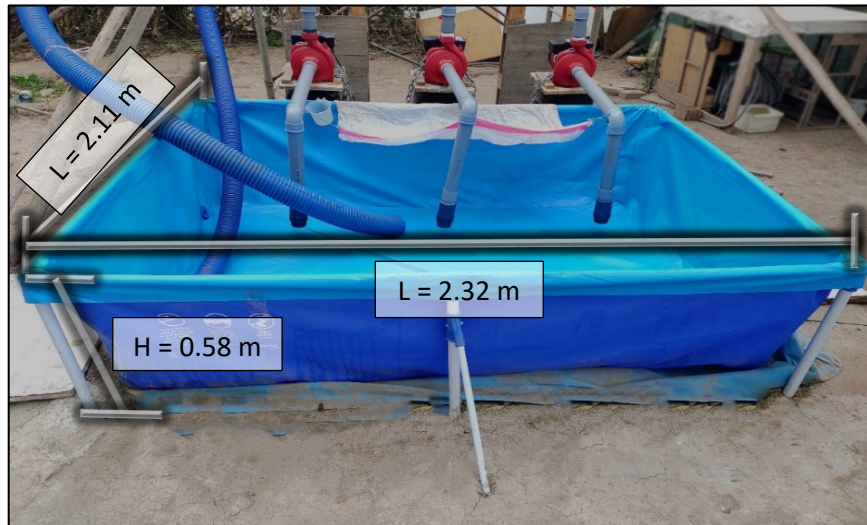


Figura 4.3 Vista de la fuente de agua

4.1.1.2. Líneas de Succión:

En las líneas de succión se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Instalación de una válvula de pie.
- Altura mínima de agua de 40 cm para evitar fallo de las bombas debido al ingreso de aire la no respetar el nivel mínimo de sumergencia.
- Barrera artesanal para evitar entrada de aire por las turbulencias causadas al recircular de agua.



Figura 4.4 Vista de las líneas de succión

4.1.1.3. Bombas Centrifugas:

Las bombas instaladas en este sistema son idénticas para los tres sistemas de impulsión y poseen las siguientes especificaciones:

- Marca : AQUAMAX
- Caudal Máximo : 410 l/min
- Altura Máxima : 25 m
- Succión Máx. : 9 m
(Valor obtenido de la tabla de datos de la bomba)
- Voltaje : 110-220 Hz
- Amperaje : 19 – 9.5A

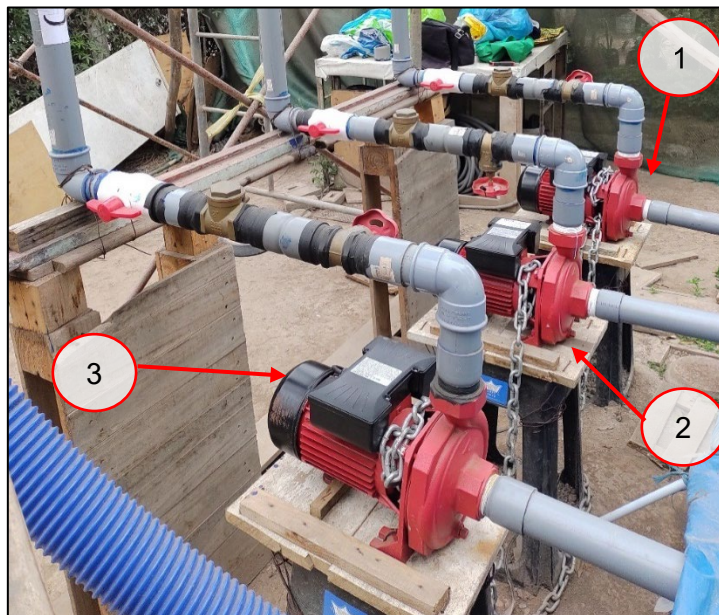


Figura 4.5 Bombas centrifugas

4.1.1.4. Válvulas de Control:

Sabiendo que para lograr que el sistema se estabilice, el caudal proporcionado a los contenedores debe aumentar progresivamente, con ello en consideración fue necesaria la instalación de dos válvulas. Esta configuración y su funcionamiento se detallará en el ítem 4.3.



Figura 4.6 Válvulas de control

Las válvulas de control se componen de:

- Válvula compuerta Ø2"
- Válvula check Ø2"
- Válvula de bola Ø2"

4.1.1.5. Descarga a Contenedor:

En el tramo final, se instaló una conexión a una manguera corrugada de Ø2" que descarga a los contenedores del sistema sifónico a estudiar. La posición de la tubería corrugada se mantuvo en la misma posición durante todas las pruebas gracias al agujero central de la tapa del contenedor por donde esta ingresaba al contenedor.



Figura 4.7 Descarga hacia los Contenedores

4.1.1.6. Línea de Retorno:

Al final de la bajante de drenaje principal se conectó una manguera corrugada de Ø4", la cual no se encontraba sellada a la tubería, sino que se encontraba sujeta por el andamio y un poste provisional con el fin de proporcionar una descarga libre y no interferir con el sistema sifónico.



Figura 4.8 Línea de Retorno

4.1.1.7. Panel Eléctrico:

Para facilitar la operatividad de las bombas se instaló un panel de llaves termomagnéticas con las cuales se operaban las bombas centrífugas de acuerdo a lo necesitado para las pruebas.



Figura 4.9 Panel Eléctrico

4.1.2. SISTEMA SIFÓNICO:

La configuración del sistema sifónico instalado para el presente estudio consta de tres contenedores con un sumidero sifónico cada uno, estos descargarán a un colector horizontal mediante bajantes secundarias, donde finalmente el colector descargará a una bajante principal. Este sistema se encuentra apoyado sobre dos cuerpos de andamios.

Con el fin de conocer la presión de puntos importantes del sistema, se instaló 02 manovacúómetros en el colector horizontal.



Figura 4.10 Vistas del sistema sifónico

Para un mejor entendimiento del sistema instalado, se desarrolló el siguiente diagrama donde se podrá apreciar a mayor detalle los componentes del mismo. (Ver Figura 4.11)

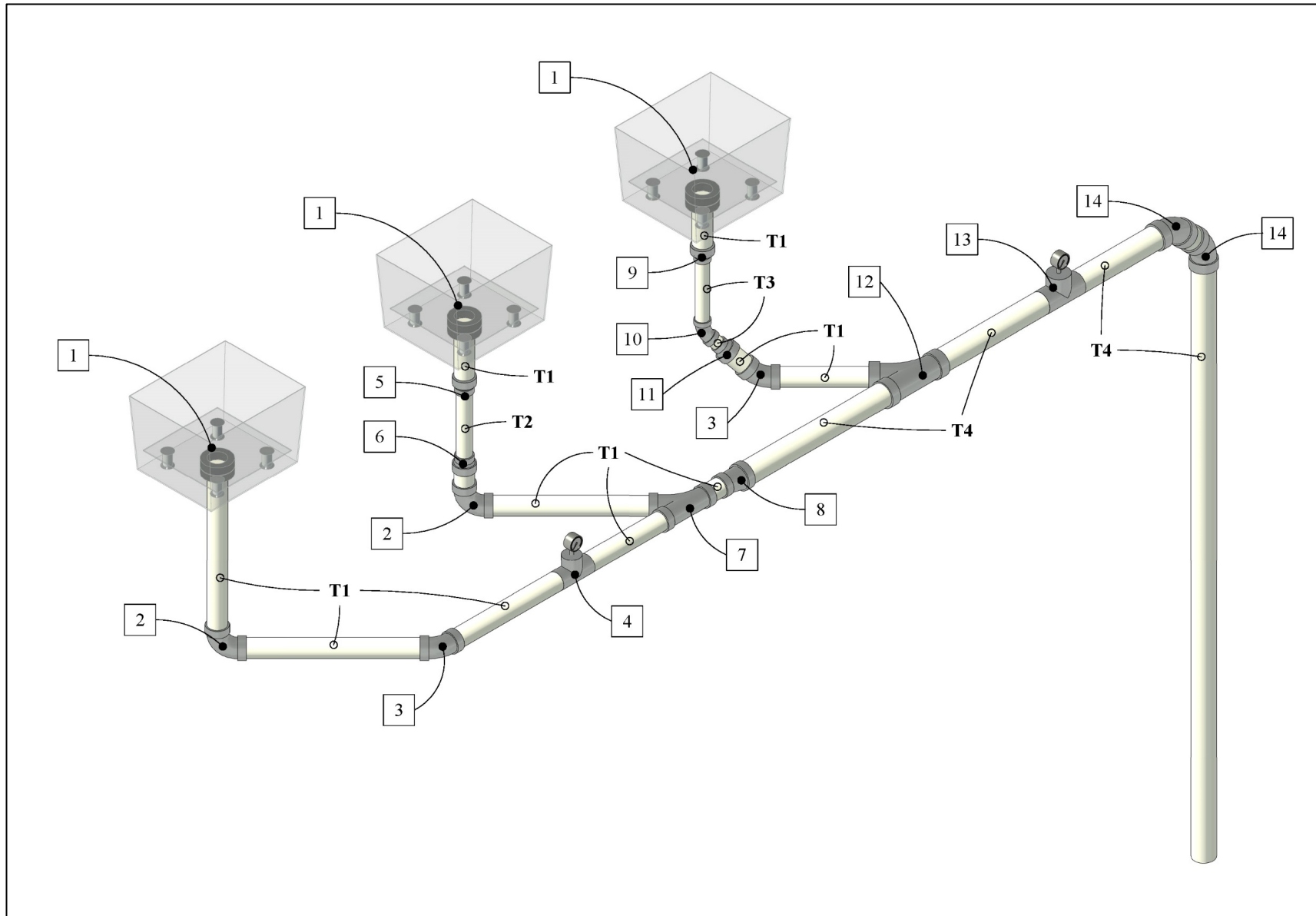


Figura 4.11 Esquema del sistema sifónico

Los componentes mostrados en la Figura 4.11 se detallan en la Tabla 4.1.2.

ITEM	DESCRIPCIÓN
01	Contenedores con sumidero sifónico de Ø2"
02	Ø2" – Codo de 90°
03	Ø2" – Codo de 45°
04	Ø2" – Instalación de manovacuómetro
05	Reducción de Ø2" a Ø1 ½"
06	Ampliación de Ø1 ½" a Ø2"
07	Ø2" a Ø2" – Yee de 45°
08	Ampliación excéntrica de Ø2" a Ø2 ½"
09	Reducción de Ø2" a Ø1 ¼"
10	Ø1 ¼" – Codo de 45°
11	Ampliación de Ø1 ¼" a Ø2"
12	Ø2 ½" a Ø2" – Yee de 45°
13	Ø2 ½" – Instalación de manovacuómetro
14	Ø2 ½" – Codo de 45°
T1	Tubería de Ø2"
T2	Tubería de Ø1 ½"
T3	Tubería de Ø1 ¼"
T4	Tubería de Ø2 ½"

Tabla 4.1.2 Leyenda del esquema del sistema sifónico

4.1.2.1. Soporte Estructural:

Se hizo el uso de dos cuerpos de andamio de dimensiones de 2.10 m de largo, 1.30 m de ancho y una altura de 2 m. Se usaron los andamios para lograr una altura de 4 m en conjunto sobre el cual se situaron tres tablones de madera de 10 m de largo, 25 cm de ancho y 5 cm de espesor.

Se optó por instalar 4 anclajes para crear mejor estabilidad del sistema y una baranda para brindar seguridad al tesista durante la construcción del sistema y la duración de las pruebas.



Figura 4.12 Estructura de soporte del sistema sifónico

4.1.2.2. Contenedor con Sumidero Sifónico:

El accesorio instalado es un recipiente plástico que cuenta con un sumidero sifónico instalado en la base del mismo. Este sumidero sifónico está compuesto por una placa cuadrada de acrílico de 0.30 cm de lado y 4 soportes tal y como se muestra en la Figura 4.13.

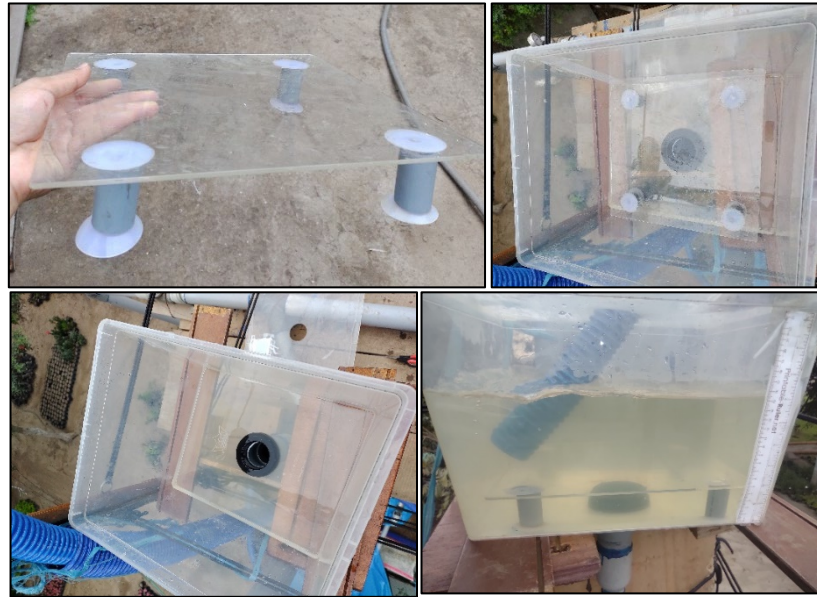


Figura 4.13 Contenedor con sumidero sifónico instalado

4.1.2.3. Detalles de Tuberías a Usar:

Los diámetros de las tuberías de PVC respecto a sus espesores y diámetros se muestran a continuación

Descripción	Material	Diámetro Externo	Espesor	Diámetro Interno
Tubería de Ø1 ¼"	PVC	42 mm	2 mm	38 mm
Tubería de Ø1 ½"	PVC	48 mm	2.3 mm	43.4 mm
Tubería de Ø2"	PVC	60 mm	2.9 mm	54.2 mm
Tubería de Ø2 ½"	PVC	73 mm	2.6 mm	67.8 mm

Tabla 4.1.3 Detalles métricos de las tuberías usadas en la tesis

Los espesores mostrados fueron medidos y se encuentran en el panel fotográfico.

4.1.2.4. Sumidero 01 – Bajante Secundario:

Este sumidero es alimentado por la bomba N.º 01 y el diámetro de la tubería usada para la bajante secundaria y el ramal que conecta al colector principal es de Ø2".

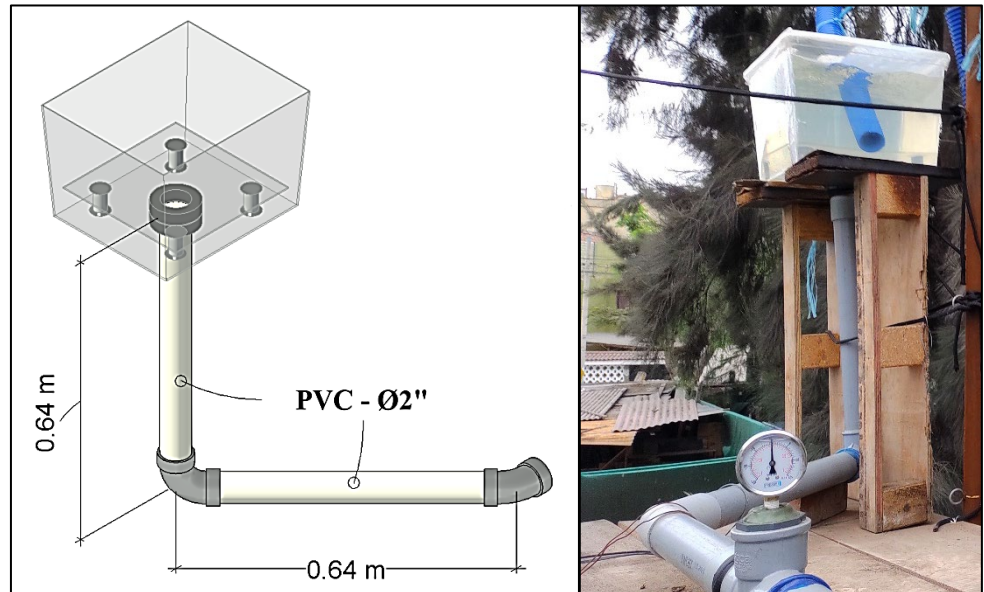


Figura 4.14 Sumidero 01 y su Bajante Secundaria

4.1.2.5. Sumidero 02 – Bajante Secundario:

Este sumidero es alimentado por la bomba N.º 02 y los diámetros de las tuberías usadas para la bajante secundaria son de Ø2" y Ø1 ½" y para el ramal fue de Ø2" conectando en una Yee de Ø2" al colector principal.

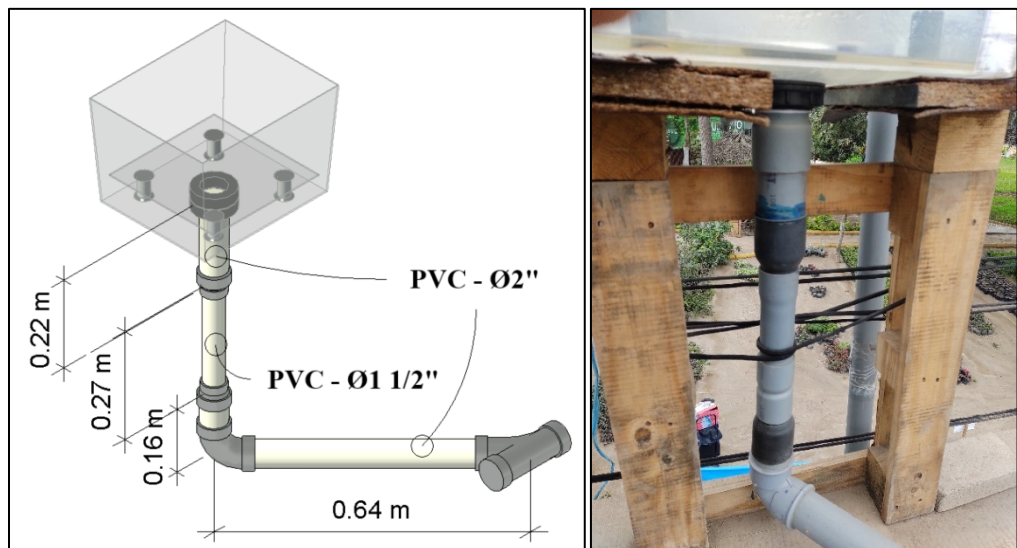


Figura 4.15 Sumidero 02 y su Bajante Secundaria

4.1.2.6. Sumidero 03 – Bajante Secundario:

Este sumidero es alimentado por la bomba N.º 03 y los diámetros de las tuberías usadas para la bajante secundaria son de Ø2" y Ø1 ¼" y para el ramal fue de Ø2" conectando en una Yee de Ø3" al colector principal.

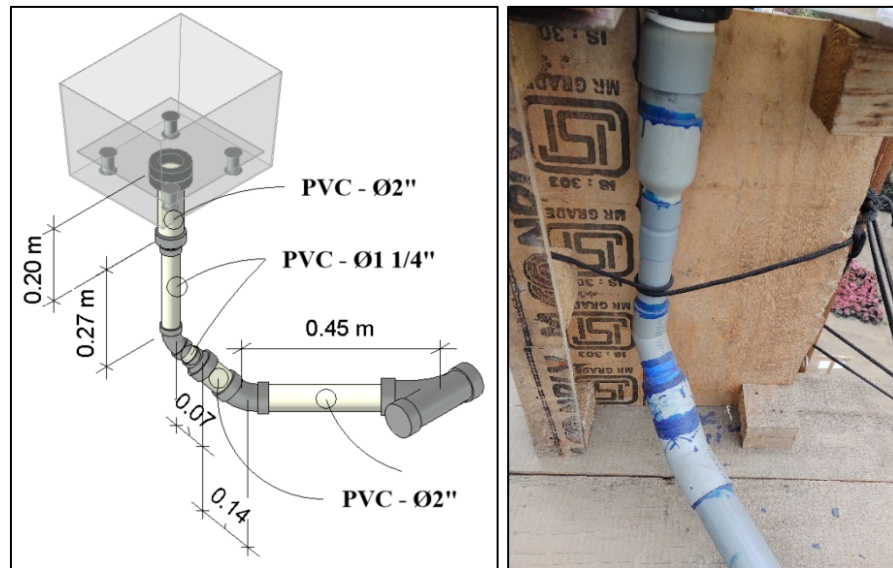


Figura 4.16 Sumidero 03 y su Bajante Secundaria

4.1.2.7. Colector Principal:

Este colector se caracteriza por recibir la descarga de los tres sumideros sifónicos y descargar en la bajante principal.

A pesar de que la longitud del colector no es muy larga y que resultaría despreciable la consideración de una pendiente, se optó por una pendiente nula al ser esta una ventaja importante del sistema sifónico.

En este colector se aprecia un cambio de diámetro, para ello se instaló una expansión excéntrica con el fin de evitar la generación de bolsas de aire y que el sistema no funcione en su totalidad.

Dentro del recorrido del colector se instaló dos puntos de medición de presión que se conforman por dos tees y dos manovacúómetros

que servirán para comprender mejor el funcionamiento del sistema sifónico.

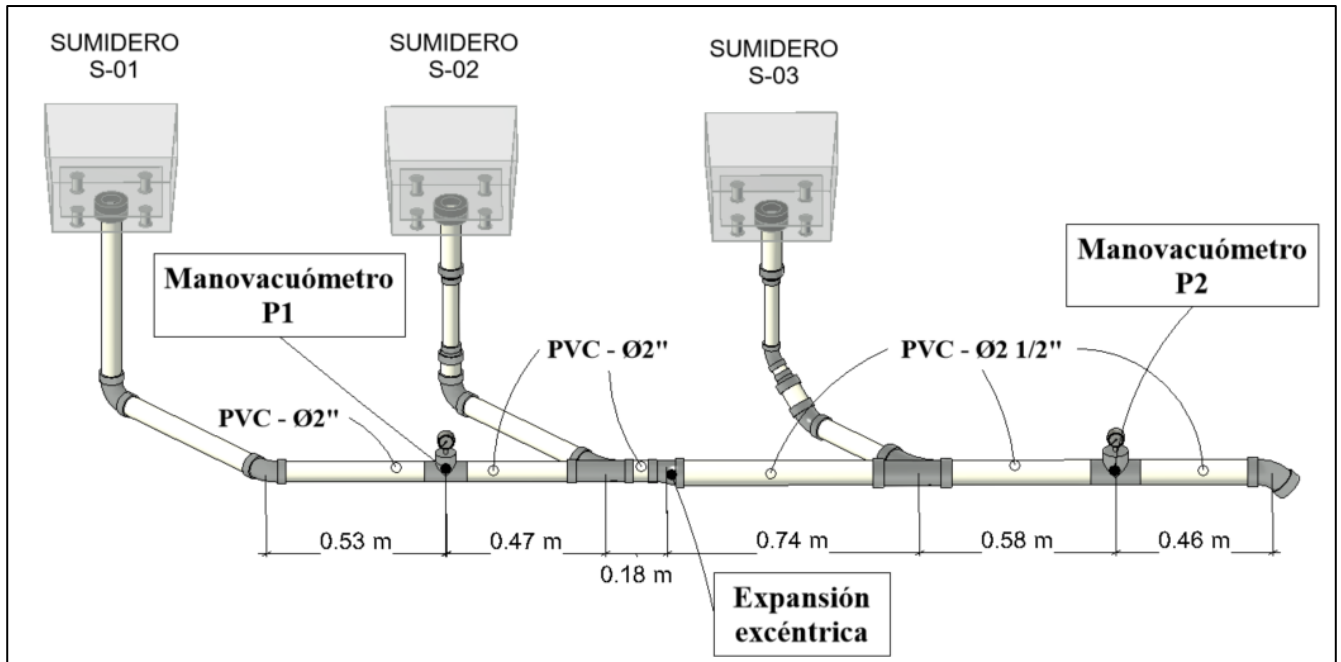


Figura 4.17 Colector Principal del Sistema Sifónico

4.1.2.8. Manovacúmetros:

Se optó por la instalación de manovacúmetros debido a que el sistema opera tanto a presiones negativas como a positivas dependiendo del escenario en el cual se desarrolle.

Los manovacúmetros instalados tienen las siguientes características

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



Figura 4.18 Manovacúómetros Ventados

El manovacúómetros instalado al tener un rango de presiones bastante pequeño tiene un tapón que funciona como ventilación para poder equiparar las pequeñas variaciones que pueden ser causadas por variación de temperatura en el medio ambiente. Para su correcto funcionamiento se cortó la punta de los tampones para así poder generar ese equilibrio de presiones.

Manovacúómetro 01:

Este aparato se encuentra ubicado entre la entrada del sumidero S-01 y el S-02.

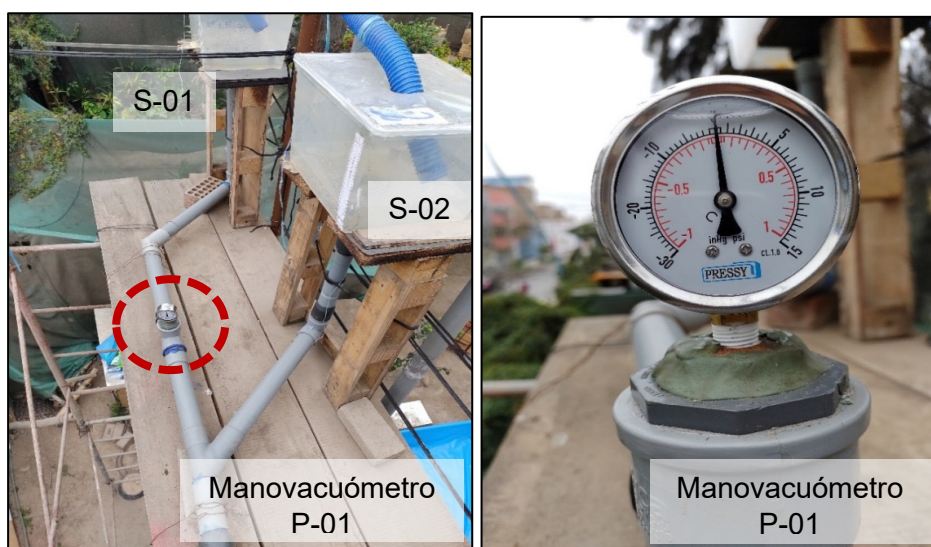


Figura 4.19 Manovacúómetro 01 en el Sistema Sifónico

Manovacuómetro 02:

Este aparato se encuentra ubicado entre la entrada del sumidero S-03 y la bajante principal.

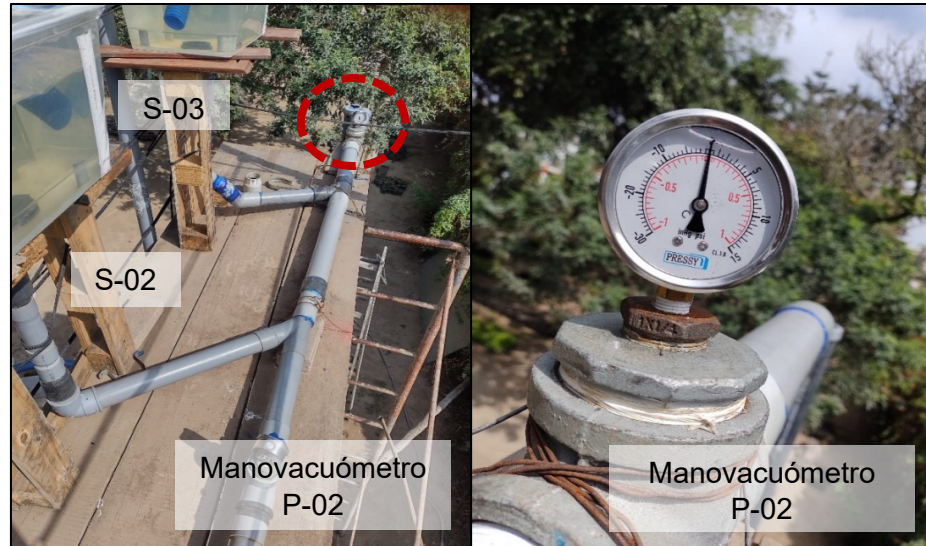


Figura 4.20 Manovacuómetro 02 en el Sistema Sifónico

4.1.2.9. Excentricidad:

Con el fin de poder tener un buen desarrollo del cebado del colector principal, se instaló la expansión excéntrica.



Figura 4.21 Expansión excéntrica en el sistema sifónico

4.1.2.10. Bajante Principal:

La bajante inicialmente instalada consta de una altura de 2.66 metros, la cual sería progresivamente reducida para efectos del presente estudio experimental.



Figura 4.22 Bajante Principal del sistema sifónico

4.2. PREPARACIÓN DE CONDICIONES NECESARIAS PARA EL EXPERIMENTO.

4.2.1. ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA:

Se tiene en conocimiento que el estudio experimental se encuentra dentro de las instalaciones del Vivero Municipal de Breña, por lo cual se debe tener en cuenta que la alimentación eléctrica no solo abastecerá al sistema propio de la tesis; sino que también, alimentará a los diversos aparatos electrónicos dentro de sus instalaciones.

Durante el desarrollo de la tesis se observó una variación errática de la intensidad de corriente de las bombas y en ocasiones el tomacorriente general se apagaba debido a sobrecarga durante el desarrollo de las pruebas a causa de que el personal del vivero hacia uso de máquinas eléctricas como soldadoras y sierras eléctricas.

Debido a que no tenían un horario definido para hacer uso de estos equipos, se debía verificar primero que no se estaba haciendo uso de estos y poder obtener una intensidad de corriente estable en las bombas.

4.2.2. CAUDAL INSUFICIENTE:

Las bombas adquiridas no tenían el caudal suficiente para poder abastecer al sistema sifónico y poder apreciar el funcionamiento del sistema en su máxima capacidad; sin embargo, al retirar la válvula de pie se pudo reducir la pérdida de carga en la línea de succión consiguiendo con ello el caudal esperado.

Debido a lo mencionado anteriormente, antes de realizar las pruebas se procedía a retirar las válvulas de pie y se volvía colocar dicha válvula al finalizar la misma para que el sistema se mantenga cebado.

4.2.3. PROTECCIÓN DE BOMBAS Y MANOVACUÓMETROS.

Al encontrarlos en un ambiente al aire libre, se protegieron las bombas centrífugas y los manovacúómetros con bolsas plásticas de la intemperie y principalmente de la lluvia. Previo el desarrollo de las pruebas se verificaba el estado de los mismos asegurándose de que no presenten alteraciones.

4.2.4. VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE LAS TUBERÍAS CORRUGADAS DE Ø2”

Las mangueras corrugadas al final de cada sistema de impulsión tienen como finalidad el aprovechar su flexibilidad para poder retirar la descarga de los contenedores y reubicarla en una tubería corrugada de Ø3” para las lecturas de caudal individual. Al estar en constante cambio de posición durante las pruebas, se debía verificar que antes de prender las bombas se encontraran descargando al contenedor y no a la manguera de Ø3”.

4.3. INICIO DE LA PRUEBA Y ESTABILIZACIÓN DEL SISTEMA.

Previo a realizar la primera prueba del estudio, la configuración inicial de válvulas fue de mantener la válvula compuerta casi cerrada y la válvula de bola completamente cerrada para los tres sistemas de impulsión.

Posteriormente, para el inicio de la primera prueba se procedió a abrir ligeramente la válvula de bola del sistema de impulsión N.º 01 lo suficiente para permitir el paso de agua e inmediatamente encender la Bomba N.º 01, este procedimiento se realizó para las Bombas N.º 02 y 03 en ese orden.



Figura 4.23 Tesista Manipulando las Válvulas de Control

Teniendo las tres bombas encendidas, se procedió a incrementar progresivamente la abertura de las válvulas de bola hasta su máxima capacidad, luego se empezó a abrir las válvulas compuertas hasta que el sistema muestre los indicadores de que está trabajando a su máxima capacidad.

Indicadores de que el sistema está trabajando como un sistema sifónico.

- Sonido y estabilidad del sistema: Mientras el sistema se encuentra en el proceso de cebado, se pudo apreciar un movimiento errático especialmente en la bajante que no estaba totalmente fija y se podía escuchar el ruido generado por el agua transportándose a través de las tuberías. Finalmente, cuando se llegaba al punto donde el sistema empezaba a trabajar como sistema sifónico, el movimiento errático cesaba junto con el ruido.
- Contenedores: Se podía apreciar la desaparición del vórtice y el nivel del agua empezaba a superar el nivel de la placa instalada como sumidero sifónico.
- Presiones negativas: Se podía observar presiones negativas en los manovacúómetros.

Una vez que el sistema llega a trabajar como sistema sifónico, se trató de estabilizar manipulando las válvulas compuertas logrando que los niveles de los contenedores no varíen; sin embargo, lograr que estos no varíen en absoluto en las condiciones del experimento es imposible, tomando ello en cuenta se procuró que la variación sea imperceptible durante 1 minuto.

Para posteriores pruebas la configuración inicial de las pruebas fue de mantener la válvula de bola completamente cerrada y la válvula compuerta en la posición final a la que se logró la estabilización en la anterior prueba. En este punto se abren las 3 válvulas de bola hasta que el sistema empiece a trabajar como sistema sifónico (aproximadamente 75% de abertura).

Llegado al anterior punto, se empieza a cerrar la válvula compuerta de la línea de impulsión 01 y paralelamente se abre la válvula de bola para compensar la pérdida de carga del sistema de impulsión hasta que la válvula

de bola se encuentre completamente abierta. Este proceso se repite para las otras líneas de impulsión, finalmente ya teniendo las válvulas de bola completamente abiertas, se estabiliza el sistema usando las válvulas compuertas logrando que los niveles de los contenedores no varíen en 1 minuto.

4.4. MEDICIÓN DE PRESIONES Y CAUDALES.

4.4.1. PRIMERA LECTURA DEL NIVEL DE CONTENEDORES Y DE MANOVACUÓMETROS.

Teniendo el sistema estabilizado, la primera acción a realizar es tomar nota de las alturas de los contenedores y de las presiones mostradas en los manovacúómetros, para el caso específico de los manovacúómetros, al no poder observar con gran precisión el valor de presión in situ, se procedió a tomar capturas de las presiones mostradas para posteriormente ser analizadas en computadora.

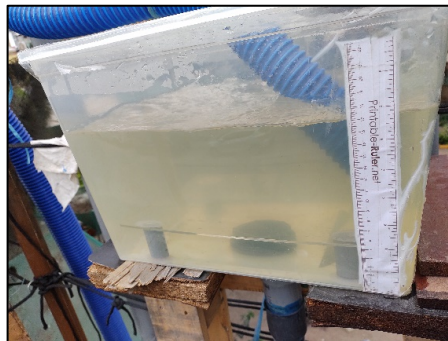


Figura 4.24 Contenedor con regla de nivel

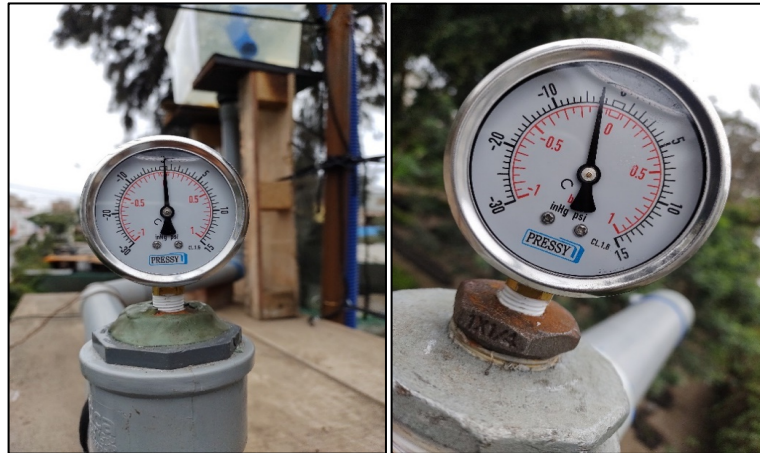


Figura 4.25 Manovacúómetros para lectura de presión

4.4.2. LECTURA DE CAUDAL TOTAL:

Para la lectura de caudal se utilizó una balanza electrónica y un recipiente de 60 litros de capacidad, el método consiste en llenar el recipiente de agua durante un tiempo determinado y con el resultado final poder obtener el peso de agua del cual se obtendría el volumen que posteriormente sería dividido entre el tiempo determinado anteriormente obteniéndose así el caudal requerido como dato.

Luego de obtener los datos de niveles de contenedor y de presión, se procedió a determinar el caudal general de la manguera corrugada de $\varnothing 4''$ que recibe el caudal de la bajante principal. Para esta prueba se tomó un tiempo de llenado de solo 3 segundos ya que el caudal era demasiado grande para la capacidad del recipiente y de la balanza. Y se tomaron 3 muestras como mínimo para garantizar la calidad de los datos obtenidos.



Figura 4.26 Lectura de caudal general del sistema sifónico

4.4.3. SEGUNDA LECTURA DEL NIVEL DE CONTENEDORES:

Para este punto se procedió a tomar nuevamente las medidas del nivel de agua de los contenedores habiendo pasado aproximadamente 10 minutos desde la primera medición, siendo estos valores los que se tomarían para realizar el cálculo hidráulico ya que, es en este punto donde el sistema se encontraría más estable. Se verificaba que el estado de las presiones no variaba respecto a los datos obtenidos en la primera lectura.

4.4.4. APAGADO DEL SISTEMA Y LECTURA DE CAUDALES INDIVIDUALES.

Teniendo en conocimiento que el sistema no cuenta con las válvulas de pie y que podrían perder el cebado si no se aplican las medidas necesarias.

Previo a apagar las bombas se cerraron todas las válvulas de bola hasta dejar un paso de agua mínimo para luego proceder a apagar la bomba N° 01 e inmediatamente a ello se cerró completamente la válvula de bola del sistema N° 01. Este proceso se realizó para las siguientes bombas en orden.

Ya teniendo el sistema completamente apagado, se reubicó la descarga de la tubería corrugada de Ø2" del sistema N.º 01 para descargar en la tubería corrugada de Ø3" que tiene como descarga inicial la fuente de agua.

Se realiza el encendido de la bomba N.º 01, mientras la tubería corrugada de Ø3" descargaba en la fuente de agua se esperó unos minutos hasta que la bomba se estabilizara. Ya teniendo un flujo de agua sin variaciones visibles se procedió a tomar los datos de caudal siguiendo el procedimiento usado para el caudal general; sin embargo, en este caso se tomó un tiempo de llenado de 10 segundos y la prueba se repitió 3 veces como mínimo. Este proceso se repitió para las bombas N.º 02 y 03 en ese orden.



Figura 4.27 Lectura de caudales individuales del sistema sifónico

4.5. VERIFICACIÓN DE EQUILIBRIO DEL SISTEMA

Con el objetivo de verificación de datos se procedió a prender las bombas con las mismas características y observar si el sistema seguía manteniendo las mismas características (niveles en los contenedores y presión). Se verificó en todos los casos una ligera elevación en los niveles de agua de los contenedores que progresivamente iban bajando hasta acercarse a los valores iniciales, debido a ello se decidió solo realizar una prueba y su respectiva confirmación posterior.

4.6. REDUCCIÓN DE LA ALTURA DE LA BAJANTE PRINCIPAL DEL SISTEMA.

Finalmente, al tener todos los datos requeridos para fines de estudio, se procedió a cortar 10 centímetros de la bajante principal, dejando paso libre para poder realizar la siguiente prueba. Este proceso se repetiría hasta que el sistema deje de funcionar como un sistema sifónico, los indicadores para saber que se llegó al punto serían una caída radical de la capacidad del sistema y las presiones mostradas en los manovacúómetros sufrirían un incremento abrupto.



Figura 4.28 Corte de la Bajante Principal

CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN (GABINETE) - II

En el presente estudio se realizó un cálculo hidráulico para cada uno de los diferentes escenarios resultantes de la variación de la bajante principal. Para este fin se hizo uso principalmente de las fórmulas de Bernoulli y de Swamee-Jain con el objetivo de estimar la capacidad hidráulica del sistema proyectado.

Previo al desarrollo del cálculo en sí, se tiene que entender lo que ocurre hidráulicamente en el sistema en condiciones ideales, para ello se plantea los siguientes puntos críticos a detallar del sistema sifónico instalado.

- 1) Confluencia de caudales provenientes de los sumideros S1 y S2
- 2) Confluencia de caudales provenientes de los sumideros S1, S2 Y S3
- 3) Equilibrio de energía general del sistema sifónico.

Ya teniendo comprensión de lo que ocurre hidráulicamente en el sistema se procedió a realizar el cálculo hidráulico; sin embargo, al ser este muy extenso para poder realizarlo manualmente, se hizo uso del programa Excel para facilitar el desarrollo del cálculo hidráulico. Con ello en mente, a continuación, se plantea el desarrollo de la metodología.

5.1. CONFLUENCIA DE CAUDALES PROVENIENTES DE LOS SUMIDEROS S1 Y S2

Se debe comprender que en el punto donde el caudal proveniente del sumidero S1 (Q_1) y el caudal proveniente del sumidero S2 (Q_2) se encuentran, resulta de vital importancia para la primera parte del cálculo hidráulico ya que la presión en dicho punto definirá la relación entre los caudales Q_1 y Q_2 . (Ver Figura 5.1)

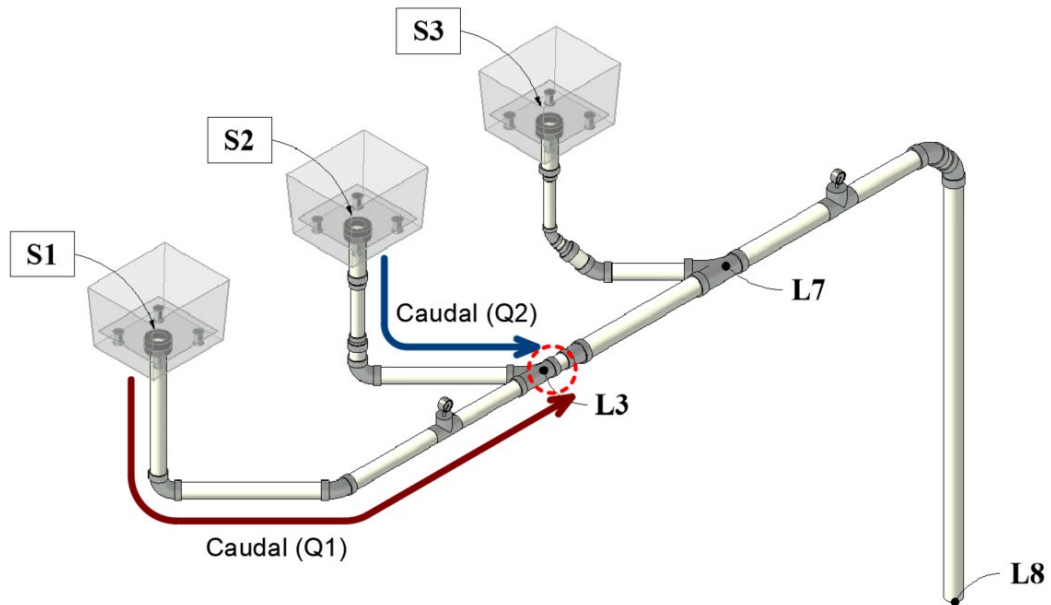


Figura 5.1 Punto de Confluencia entre el Caudal Q1 y Q2

En este punto se debe plantear un recorrido hidráulico para el caudal Q1 y otro para el caudal Q2 teniendo en cuenta que la presión resultante en el punto L3 mostrado en la Figura 5.1 debería ser la misma en ambos recorridos.

Para el recorrido correspondiente al caudal Q1 se plantea la ecuación de Bernoulli para la conservación de energía entre los puntos (S1) y (L3) resultando en la ecuación (5.1)

$$\frac{P_{S1}}{\gamma} + \frac{V_{S1}^2}{2g} + z(S1) - hf_{S1-L3} - hk_{S1-L3} = \frac{P_{L3}}{\gamma} + \frac{V_{L3}^2}{2g} + z(L3) \quad (5.1)$$

Donde:

- $\frac{P}{\gamma}$ = Energía de presión
- $\frac{v^2}{2g}$ = Energía cinética
- z = Energía potencial
- hf = Pérdida de energía por fricción
- hk = Pérdida de energía localizada

En la anterior ecuación se debe tener en cuenta que la expresión correspondiente a la energía cinética del punto S1 se desprecia debido a que la velocidad de aproximación en el contenedor es prácticamente nula.

Teniendo lo anterior en cuenta se busca despejar la presión y la energía cinética en el punto (L3) Resultando en la ecuación (5.2)

$$\frac{P_{S1}}{\gamma} + z(S1) - hf_{S1-L3} - hk_{S1-L3} = \frac{P_{L3}}{\gamma} + \frac{V_{L3}^2}{2g} + z(L3)$$

$$\frac{P_{L3}}{\gamma} + \frac{V_{L3}^2}{2g} = \frac{P_{S1}}{\gamma} + z(S1) - z(L3) - hf_{S1-L3} - hk_{S1-L3} \quad (5.2)$$

Para el recorrido correspondiente al caudal Q2 se sigue el mismo procedimiento aplicado para el caudal Q1, usando la Fórmula de Bernoulli para la conservación de energía entre los puntos (S2) y (L3) obteniéndose como resultado la ecuación (5.3)

$$\frac{P_{L3}}{\gamma} + \frac{V_{L3}^2}{2g} = \frac{P_{S2}}{\gamma} + z(S2) - z(L3) - hf_{S2-L3} - hk_{S2-L3} \quad (5.3)$$

Teniendo ambas ecuaciones correspondientes a los recorridos de los caudales Q1 y Q2, se pretende igualar las ecuaciones (5.2) y (5.3), para finalmente obtener como resultado la relación entre los caudales Q1 y Q2 según se muestra en la ecuación (5.4)

$$\begin{aligned} \frac{P_{S1}}{\gamma} + z(S1) - z(L3) - hf_{S1-L3} - hk_{S1-L3} \\ = \frac{P_{S2}}{\gamma} + z(S2) - z(L3) - hf_{S2-L3} - hk_{S2-L3} \end{aligned} \quad (5.4)$$

Se debe tener en cuenta que los valores de presión tanto para el punto S1 como para el punto S2 son iguales a la presión atmosférica, por tanto, estas expresiones se eliminarían de la ecuación (5.4)

Se debe tener presente que se instalaron los sumideros de tal manera que las cotas de estos sean idénticas; sin embargo, la lectura de los niveles de los contenedores nos brinda mayor precisión para el cálculo hidráulico.

Entonces, el valor de Z no representa la cota del sumidero, sino, el nivel de agua que presenta el contenedor.

Con las consideraciones mencionadas líneas arriba, la expresión final resulta en la ecuación (5.5)

$$z(S1) + hf_{S1-L3} + hk_{S1-L3} = z(S2) + hf_{S2-L3} + hk_{S2-L3} \quad (5.5)$$

Finalmente se podría definir que la relación entre los caudales Q1 y Q2 se basa en la igualdad entre la pérdida de energía por fricción en tuberías y localizada en accesorios junto con la diferencia de niveles de agua entre contenedores.

5.2. CONFLUENCIA DE CAUDALES PROVENIENTES DE LOS SUMIDEROS S1, S2 Y S3

Al igual que en el primer punto de confluencia, la confluencia por parte de la unión del caudal Q3 al colector principal resulta ser importante para saber la relación entre el caudal acumulado de Q1-Q2 y el caudal Q3.

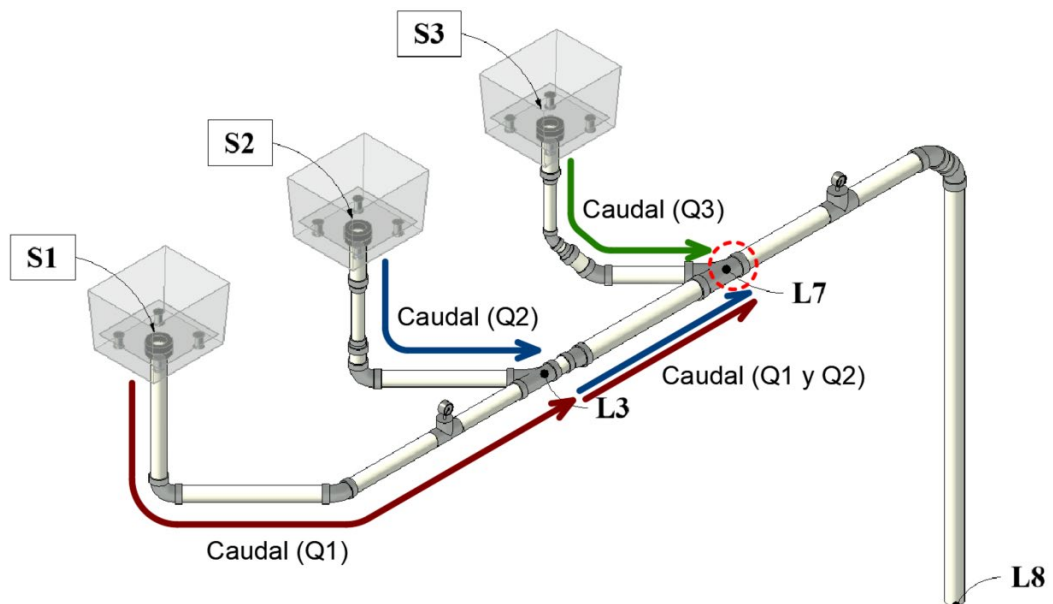


Figura 5.2 Punto de Confluencia para el Caudal Q3

En este escenario se sigue la misma mecánica mencionada en el ítem 5.1; sin embargo, en este caso para el punto de confluencia en L7 mostrado en la Figura 5.2 se tienen 2 posibles vías de solución.

- El primer recorrido hidráulico se desarrolla partiendo del sumidero S1 hasta el punto L3, siguiendo con el caudal combinado (Q1-Q2) hasta el punto L7. El segundo recorrido correspondiente al Caudal Q3 parte del sumidero S3 hacia el punto L7.
- El primer recorrido hidráulico se desarrolla partiendo del sumidero S2 hasta el punto L3, siguiendo con el caudal combinado (Q1-Q2) hasta el punto L7. El segundo recorrido correspondiente al Caudal Q3 parte del sumidero S3 hacia el punto L7.

Ambas metodologías llevan el mismo resultado; no obstante, para fines académicos se procederá a detallar la que toma en consideración al sumidero S1 como punto de partida. Para dicha metodología se presenta el equilibrio de energía entre el punto S1 y L7 mostrado en la ecuación (5.6)

$$\frac{P_{S1}}{\gamma} + \frac{V_{S1}^2}{2g} + z(S1) - hf_{S1-L7} - hk_{S1-L7} = \frac{P_{L7}}{\gamma} + \frac{V_{L7}^2}{2g} + z(L7) \quad (5.6)$$

Siguiendo el criterio mencionado en el ítem 5.1 la ecuación (5.6) (5.11) se reduce a la siguiente expresión.

$$\frac{P_{S1}}{\gamma} + z(S1) - hf_{S1-L7} - hk_{S1-L7} = \frac{P_{L7}}{\gamma} + \frac{V_{L7}^2}{2g} + z(L7)$$

$$\frac{P_{L7}}{\gamma} + \frac{V_{L7}^2}{2g} = \frac{P_{S1}}{\gamma} + z(S1) - z(L7) - hf_{S1-L7} - hk_{S1-L7} \quad (5.7)$$

Para el recorrido hidráulico del caudal Q3 se sigue el mismo procedimiento resultando en la ecuación (5.8)

$$\frac{P_{L7}}{\gamma} + \frac{V_{L7}^2}{2g} = \frac{P_{S3}}{\gamma} + z(S3) - z(L7) - hf_{S3-L7} - hk_{S3-L7} \quad (5.8)$$

Ya teniendo las ecuaciones (5.7) y (5.8) se procede a igualarlas para obtener la relación entre el caudal Q3 y el caudal acumulado Q1-Q2.

Manteniendo el mismo criterio mencionado en el punto 5.1 se obtiene como resultado la ecuación (5.9)

$$z(S1) - hf_{S1-L7} - hk_{S1-L7} = z(S3) - hf_{S3-L7} - hk_{S3-L7} \quad (5.9)$$

Finalmente, la ecuación (5.9) nos muestra que la relación entre ambos caudales se basa en las pérdidas de energía por fricción en tuberías y localizada en accesorios junto con la diferencia de niveles de agua entre contenedores.

5.3. EQUILIBRIO DE ENERGÍA GENERAL DEL SISTEMA SIFÓNICO.

La finalidad de plantear una ecuación para el equilibrio de energía de todo el sistema es el de poder obtener la capacidad hidráulica del sistema sifónico.

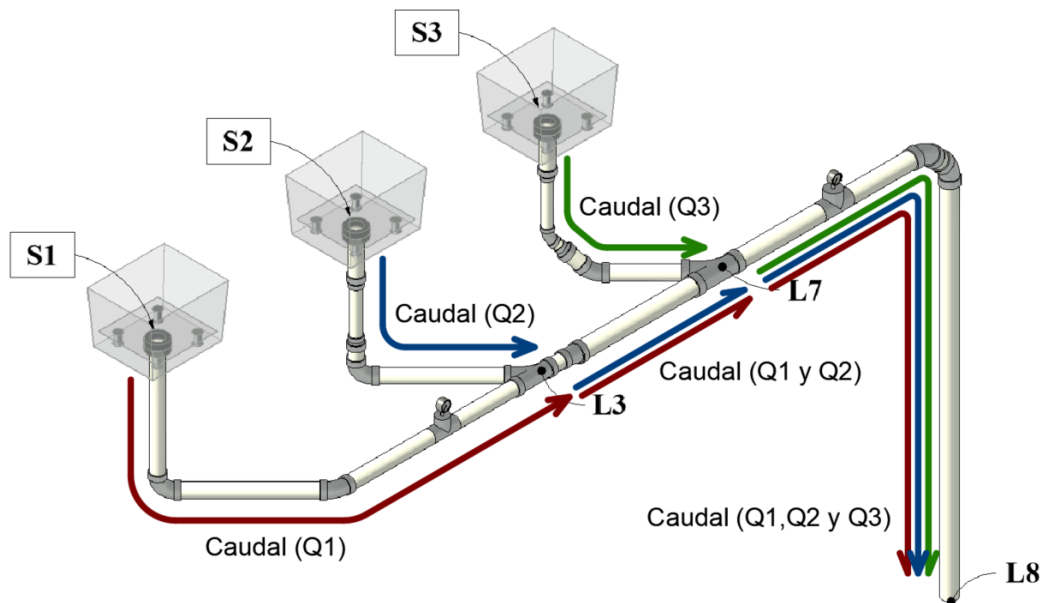


Figura 5.3 Flujo General del Sistema Sifónico

Como se aprecia en la Figura 5.3 se pueden plantear 3 recorridos hidráulicos, los cuales se definen a continuación:

- El primer recorrido hidráulico se desarrolla partiendo del sumidero S1 hasta el punto L3, siguiendo con el caudal combinado (Q1-Q2) hasta el punto L7 y finalmente el caudal total (Q1-Q2-Q3) hasta el punto L8.
- El segundo recorrido hidráulico se desarrolla partiendo del sumidero S2 hasta el punto L3, siguiendo con el caudal combinado (Q1-Q2) hasta el punto L7 y finalmente el caudal total (Q1-Q2-Q3) hasta el punto L8.
- El tercer recorrido hidráulico se desarrolla partiendo del sumidero S3 hasta el punto L7, siguiendo con el caudal combinado (Q1-Q2-Q3) hasta el punto L8.

Los tres recorridos hidráulicos mencionados tendrían como resultado los mismos valores referentes a la capacidad hidráulica del sistema. Para fines académicos se escogió la metodología que toma como punto de partida al Sumidero S1 siguiendo lo mostrado en la ecuación:

$$\frac{P_{S1}}{\gamma} + \frac{V_{S1}^2}{2g} + z(S1) - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{P_{L8}}{\gamma} + \frac{V_{L8}^2}{2g} + z(L8) \quad (5.10)$$

De la ecuación (5.10) se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La presión en los puntos S1 y L8 son iguales a la presión atmosférica, por tanto, estas se eliminan de la ecuación.
- La velocidad en el punto S1 es prácticamente nula, debido a ello la energía cinética en ese punto resulta ser nula.
- La expresión $z(S1) - z(L8)$ se puede definir como la diferencia de cotas entre ambos puntos simplificándose en $z(S1) - z(L8) = \Delta H$

Con las consideraciones mencionadas anteriormente la ecuación (5.10) se reduce a la ecuación (5.11)

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g} \quad (5.11)$$

La ecuación final de equilibrio se interpreta bajo la definición de que a la energía potencial (diferencia geométrica de cotas) se le resta las pérdidas

de carga de energía por fricción en tuberías y localizada, resultando en la energía potencial a la salida de la bajante principal.

5.4. CÁLCULO HIDRÁULICO

Con la finalidad de poder estimar la capacidad hidráulica del sistema sifónico instalado, se desarrolló un cálculo hidráulico para así poder evaluar los valores obtenidos empíricamente con los valores calculados del sistema. Para dicho fin se elaboró un esquema del sistema sifónico donde se ubicaron puntos clave para así poder diferenciar los tramos que poseen diferentes características hidráulicas como diámetros y caudales. (Ver Anexo 1)

Se realizó un cálculo hidráulico para cada escenario probado empíricamente, el procedimiento para cada uno de ellos es idéntico y se desarrolla bajo el procedimiento mostrado a continuación:

1. Como primera medida se debe asumir un valor para el caudal Q1, con este como valor inicial se utilizaría la ecuación (5.5) para poder obtener el valor del caudal Q2

$$z(S1) + hf_{S1-L3} + hk_{S1-L3} = z(S2) + hf_{S2-L3} + hk_{S2-L3} \quad (5.5)$$

2. Conociendo los caudales Q1 y Q2, se procedió a usar a la ecuación (5.9) para obtener el valor del caudal Q3

$$z(S1) - hf_{S1-L7} - hk_{S1-L7} = z(S3) - hf_{S3-L7} - hk_{S3-L7} \quad (5.9)$$

3. Teniendo el valor de los caudales Q1, Q2 y Q3, se validaría el valor de estos mismos con la ecuación (5.11)

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g} \quad (5.11)$$

En este punto, todas las expresiones de la ecuación son conocidas y se pueden generar dos escenarios.

- El primer escenario es que la ecuación resulte correcta, ello significaría que la primera asunción del valor del caudal Q1 es correcta y con ello los valores obtenidos posteriormente sobre los caudales Q2 y Q3 serían verídicos.
- El segundo escenario es cuando la ecuación resulte errónea, en cuyo caso se debe realizar iteraciones consecutivas hasta llegar al valor idóneo que satisfaga la ecuación y finalmente poder obtener los valores correctos de los caudales Q1, Q2 y Q3.

4. Ya teniendo los caudales correctos se puede obtener las presiones en los puntos donde se instalaron los manovacuómetros para así poder evaluar estos respecto a los valores obtenidos empíricamente.

Para lograr desarrollar el procedimiento detallado líneas arriba, se deben tomar las siguientes consideraciones:

5.4.1. Cálculo de Pérdidas de Carga

Para el cálculo de las pérdidas de fricción en tuberías y localizadas en accesorios se utilizaron las siguientes fórmulas:

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

$$hk = K \frac{V_1^2}{2g}$$

Donde:

- f = Factor de fricción de Darcy (adimensional)
- L = Longitud de tubería (m)
- D = Diámetro de tubería (m)
- V = Velocidad del fluido (m/s)
- g = Gravedad (m/s²)
- K = Factor de fricción (adimensional)
- hf = Pérdida de energía por fricción (m)
- hk = Pérdida de energía localizada (m)

5.4.2. Cálculo del factor de fricción “f”

Para el cálculo del factor de fricción se optó por usar la fórmula de Swamee Jain mostrada en la ecuación

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

5.4.3. Características de material y fluido

Respecto a las tuberías del sistema sifónico, se muestran las características de las tuberías y del fluido usadas para realizar los cálculos hidráulicos en la presente investigación.

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

5.4.4. Coeficientes de fricción para accesorios “K”

Respecto a los coeficientes de fricción de los accesorios instalados en el sistema, se muestran los valores usados para el desarrollo del cálculo de este sistema.

ACCESORIOS	K	FUENTE
Sumidero Sifónico	1.45	Referencial
Codo 45°	16 f	Crane
Codo 90°	30 f	Crane
Expansión Ø1 ½" a Ø2"	0.418	Crane
Contracción Ø2" a Ø1 ½"	0.300	Crane
Expansión Ø1 ¼" a Ø2"	2.073	Crane
Contracción Ø2" a Ø1 ¼"	1.125	Crane
Expansión Ø2" a Ø2 ½"	0.490	Crane
Yee – Directo Ø2" a Ø2"	0.137	Gardel
Yee – Desviación Ø2" a Ø2"	0.127	Gardel
Yee – Directo Ø3" a Ø3"	0.217	Gardel
Yee – Desviación Ø2" a Ø3"	-0.036	Gardel
Tee – Directo Ø2"	20 f	Crane
Tee – Directo Ø2 ½"	30 f	Referencial - Crane

Tabla 5.4.1 Factores de Fricción de Accesorios “K”

Para el cálculo de los factores de fricción de las reducciones y las expansiones se usaron las fórmulas de Crane.

5.4.4.1. Contracciones Graduales

Para contracciones graduales con ángulos menores a 45°:

$$K = \frac{0.8 \left(\text{sen} \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)}{\beta^4}$$

Y para expansiones graduales con ángulos mayores a 45°:

$$K = \frac{0.5(1 - \beta^2) \sqrt{\text{sen} \frac{\theta}{2}}}{\beta^4}$$

Donde:

- θ = Angulo de transición (grados)
- β = Relación de diámetros (D1/D2)
- K = Factor de fricción (adimensional)

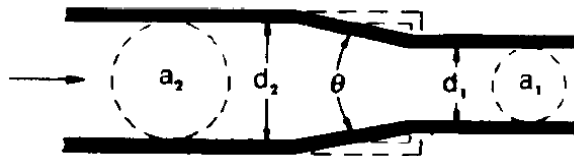


Figura 5.4 Contracción Gradual según Crane

Para fines del estudio se hallaron los factores de fricción de los siguientes accesorios:

CONTRACCIONES	D1 (mm)	D2 (mm)	B = D1/D2	Ángulo °	Factor K
Ø2" a Ø1 1/2"	0.041	0.0542	0.76	33.40	0.300
Ø2" a Ø1 1/4"	0.0347	0.0542	0.64	48.46	1.125

Tabla 5.4.2 Factores de Fricción para Contracciones

5.4.4.2. Expansiones Graduales

Para expansiones graduales con ángulos menores a 45°:

$$K = \frac{2.6 \left(\text{sen} \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

Y para expansiones graduales con ángulos mayores a 45°:

$$K = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

Donde:

- θ = Ángulo de transición (grados)
- β = Relación de diámetros (D1/D2)
- K = Factor de fricción (adimensional)

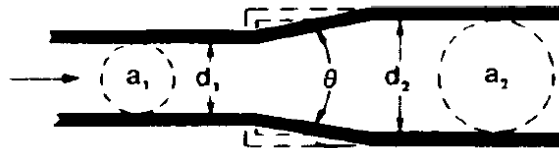


Figura 5.5 Expansión Gradual según Crane

Para fines del estudio se hallaron los factores de fricción de los siguientes accesorios:

EXPANSIONES	D1 (mm)	D2 (mm)	B = D1/D2	Ángulo °	Factor K
Ø1 1/2" a Ø2"	0.041	0.0542	0.76	33.40	0.418
Ø1 1/4" a Ø2"	0.0347	0.0542	0.64	48.46	2.073
Ø2" a Ø2 1/2"	0.052	0.0678	0.77	49.88	0.490

Tabla 5.4.3 Factores de Fricción para Contracciones

5.4.4.3. Yee como punto de confluencia.

En cuanto a la Yee, se hizo uso de la fórmula de Gardel donde el autor estima los coeficientes de fricción de estos accesorios bajo la idea de que se pueden realizar dos recorridos hidráulicos. Siendo el primer recorrido de 1 a 3 y el otro de 2 a 3, se plantean diferentes coeficientes de fricción para cada caso según se muestra en la Figura 5.6. Además, estos coeficientes se deben aplicar con la velocidad resultante de la combinación de caudales (Caudal 3).

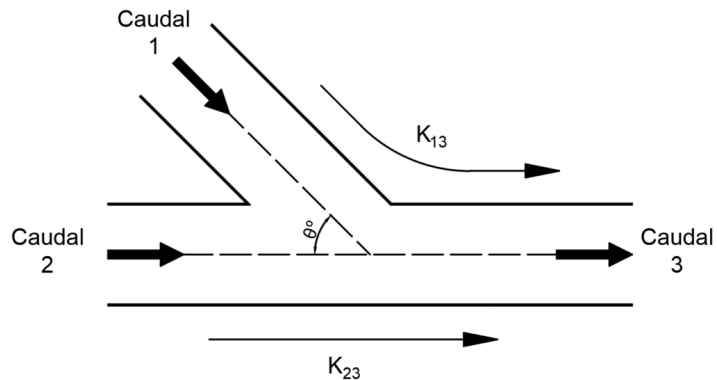


Figura 5.6 Confluencia en Yee según Gardel

La ecuación del coeficiente K_{13} referente al recorrido desde el ramal lateral se desarrolla con la siguiente expresión:

$$K_{13} = -0.92(1 - q)^2 - q^2 \left[\left(1.2 - r^{\frac{1}{2}} \right) \left(\frac{\cos(\theta)}{a} - 1 \right) + 0.8 \left(1 - \frac{1}{a^2} \right) - \left(\frac{1}{a} - 1 \right) \cos(\theta) \right] + (2 - a)(1 - q)q$$

Donde:

- θ = Angulo del accesorio ($^{\circ}$)
- a = Relación de diámetros (D_1/D_3)
- q = Relación de caudales (Q_1/Q_3)
- r = Relación de p a D3 (p/D_3)
- p = Radio del empalme del ramal
- K_{13} = Coeficiente de fricción de 1-3

La ecuación del coeficiente K_{23} referente al recorrido desde la línea principal se desarrolla con la siguiente expresión:

$$K_{23} = 0.03(1 - q)^2 - q^2 \left[1 + \left(1.62 - r^{\frac{1}{2}} \right) \left(\frac{\cos(\theta)}{a} - 1 \right) - 0.38(1 - a) \right] + (2 - a)(1 - q)q$$

Donde:

- θ = Angulo del accesorio ($^{\circ}$)
- a = Relación de diámetros (D_2/D_3)
- q = Relación de caudales (Q_2/Q_3)
- r = Relación de p a D_3 (p/D_3)
- p = Radio del empalme del ramal
- K_{23} = Coeficiente de fricción de 2-3

Puesto que en el sistema sifónico se instalaron 2 yees, se realizaron los cálculos de los factores de fricción para cada caso tal como se muestra en la Tabla 5.4.4. Es necesario mencionar que las Yees instaladas presentan bordes agudos, por tanto, el valor de $p=0$ y ello conlleva a que el valor de r sea nulo.

YEE	q	θ	a	r	$K(1-3)$	$K(2-3)$
$\varnothing 2 \frac{1}{2}''$ a $\varnothing 2''$	0.50	50.00	1.00	0.00	0.13	0.14
$\varnothing 2''$ a $\varnothing 2''$	0.33	60.00	0.80	0.00	-0.04	0.22

Tabla 5.4.4 Factores de Fricción para Yees

CAPÍTULO 6: CÁLCULOS Y RESULTADOS

En este capítulo se muestran tanto los datos experimentales obtenidos de las pruebas como los datos obtenidos de los cálculos teóricos en cada uno de los escenarios, siendo un total de 24 escenarios.

De los 24 escenarios, se detallará solo el desarrollo del primer caso con el fin de no realizar un procedimiento repetitivo en cada escenario. Sin embargo, los cuadros de cálculo se encontrarán en los Anexos

Para el cálculo hidráulico fue necesario ubicar puntos clave en el sistema sifónico con la finalidad de diferenciar los tramos que poseen diferentes características hidráulicas como diámetros y caudales. (Ver Anexo 1)

6.1. ESCENARIO 01

6.1.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 2.66 metros y fue realizado el 02 de agosto del 2021.

6.1.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.1.2.1. Niveles de contenedores

Los niveles de agua de los contenedores en centímetros se obtuvieron mientras el sistema se encontraba en estado de equilibrio y estos se muestran en la Tabla 6.1.1.

Escenario N.º 1		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	17.00	16.05
02	18.00	17.00
03	13.50	14.60

Tabla 6.1.1 Niveles de contenedor – Escenario 01

6.1.2.2. Caudal Total

Los valores del caudal total tomados de la salida de la bajante principal se muestran en la Tabla 6.1.2.

Escenario N.º 1			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	43.65	3.00	14.55
02	40.00	3.00	13.33
03	40.85	3.00	13.62

Tabla 6.1.2 Caudal Total Experimental– Escenario 01

6.1.2.3. Caudales Individuales

Los caudales individuales de cada sumidero sifónico son tomados de la tubería corrugada que descarga a los contenedores se muestran en la Tabla 6.1.3.

Escenario N.º 1				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	46.55	10.00	4.66
	02	46.85	10.00	4.69
	03	47.00	10.00	4.70
S2	01	48.50	10.00	4.85
	02	48.30	10.00	4.83
	03	48.40	10.00	4.84
S3	01	43.75	10.00	4.38
	02	43.65	10.00	4.37
	03	43.75	10.00	4.38

Tabla 6.1.3 Caudales Experimentales– Escenario 01

6.1.2.4. Presiones

Las presiones obtenidas corresponden al borde de la tubería a la cual se encuentra instalado el manovacúmetro y se encuentran en bares, los cuales son convertidas a metros columna de agua (m.c.a.) y se les resta 0.03 m.c.a. para estimar la presión al centro de la tubería. Ver Tabla 6.1.4.

Escenario N.º 1			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	-0.009	-0.09	-0.06
02	-0.137	-1.40	-1.37

Tabla 6.1.4 Presiones Experimentales – Escenario 01

6.1.3. CÁLCULO HIDRÁULICO

Siguiendo el procedimiento mencionado en el ítem 5.4 se debe tener en cuenta la diferencia de cotas entre las alturas de agua de los contenedores. Por ese motivo se agregó un valor de compensación al inicio según la Tabla 6.1.5.

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	16.05	16.05	0.00	0.0000
2	17.00	16.05	-0.95	-0.0095
3	14.60	16.05	1.45	0.0145

Tabla 6.1.5 Valor Compensatorio – Escenario 01

6.1.3.1. Confluencia en el punto L3 – Sumidero 1

Se desarrolla el cálculo hidráulico para el primer recorrido hidráulico del punto de confluencia del punto L3 según la Tabla 6.1.6 Las longitudes se pueden apreciar gráficamente en el Anexo 1.

Tramo S1 – P1:

- Caudal : 4.73 L/s
- Longitud de tubería : $0.64+0.645+0.53=1.82$
- Factor K : $1.45+(30+16+10) f = 2.461$

Tramo P1 – L3,1:

- Caudal : 4.73 L/s
- Longitud de tubería : 0.47
- Factor K : (10) $f = 0.18$

Tramo L3,1 – L3:

- Caudal : 9.60 L/s
- Longitud de tubería : 0.00
- Factor K : 0.137

El tramo L3,1 – L3 es un tramo imaginario que sirve para poder aplicar el factor de fricción para la yee instalada en el punto L3

(Ver Ítem 5.4.4)

TRAMO	CAUDAL		DIAMETRO PULG		VALORES HIDRÁULICOS				PERDIDA DE CARGA		
	S1-P1	Qi (l/s) :	4.73	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	1.82	H Inicial	-
Q (l/s) :		0.00	A(m2):			0.00	k:	2.461	hf:	0.13	m
Qt (l/s) :		4.73	V:			2.05	f:	0.018	hk:	0.53	m
Qt (m3/s) :		0.0047							H Final:	0.66	m
P1-L3,1	Qi (l/s) :	4.73	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.47	H Inicial	0.66	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.180	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	4.73			V:	2.05	f:	0.018	hk:	0.04	m
	Qt (m3/s) :	0.0047							H Final:	0.73	m
L3,1-L3	Qi (l/s) :	4.73	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.00	H Inicial	0.73	m
	Q (l/s) :	4.87			A(m2):	0.00	k:	0.137	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	9.60			V:	4.16	f:	0.016	hk:	0.12	m
	Qt (m3/s) :	0.0096							H Final:	0.85	m

Tabla 6.1.6 Cálculo Hidráulico (Confluencia L3 – Sumidero S1)

Finalmente se tiene una pérdida de carga de 0.85 m en total para este primer recorrido.

6.1.3.2. Confluencia en el punto L3 – Sumidero 1

Se desarrolla el cálculo hidráulico para el segundo recorrido hidráulico del punto de confluencia del punto L3 según la Tabla 6.1.7. Las longitudes se pueden apreciar gráficamente en el Anexo 1.

Tramo S2 – L1:

- Caudal : 4.87 L/s
- Longitud de tubería : 0.217
- Factor K : $1.45 + 0.3 = 1.75$

Tramo L1 – L2:

- Caudal : 4.87 L/s
- Longitud de tubería : 0.267
- Factor K : 0.00

Tramo L2 – L3,2:

- Caudal : 4.87 L/s
- Longitud de tubería : $0.156 + 0.64 = 0.8$
- Factor K : $0.42 + (30) f = 0.956$

Tramo L3,2 – L3:

- Caudal : 9.60 L/s
- Longitud de tubería : 0.00
- Factor K : 0.127

El tramo L3,2 – L3 es un tramo imaginario que sirve para poder aplicar el factor de fricción para la yee instalada en el punto L3

(Ver Ítem 5.4.4)

TRAMO	CAUDAL		DIAMETRO PULG		VALORES HIDRÁULICOS				PERDIDA DE CARGA				
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	A(m2)	L(m)	V	H Inicial	hf	hk	H Final	
S2-L1	4.87	0.0049	D	2	0.0542	0.00	0.22	1.750	0.01	0.02	0.40	0.40	
	0.00												
	4.87												
	0.0049												
L1-L2	4.87	0.0049	D	1.5	0.0434	0.00	0.27	-	0.40	0.06	-	0.46	
	0.00												
	4.87												
	0.0049												
L2-L3,2	4.87	0.0049	D	2	0.0542	0.00	0.80	0.956	0.46	0.06	0.22	0.74	
	0.00												
	4.87												
	0.0049												
L3,2-L3	4.87	0.0096	D	2	0.0542	0.00	0.00	0.127	0.74	0.00	0.11	0.85	
	4.73												
	9.60												
	0.0096												

Tabla 6.1.7 Cálculo Hidráulico (Confluencia L3 – Sumidero S2)

En el segundo recorrido hidráulico se presenta una pérdida de carga de 0.85 m en total, valor idéntico al obtenido en el primer recorrido hidráulico. Debido a ello se puede afirmar que las pérdidas de carga se encuentran balanceadas y que la relación de ambos caudales es idónea.

6.1.3.3. Confluencia en el punto L7 – Sumidero 1 y 2

Se desarrolla el cálculo hidráulico para el primer recorrido hidráulico del punto de confluencia del punto L7 según la Tabla 6.1.8. Las longitudes se pueden apreciar gráficamente en el Anexo 1.

Tramo L3 – L4:

- Caudal : 9.60 L/s
- Longitud de tubería : 0.18
- Factor K : 0.00

Tramo L4 – L7,1:

- Caudal : 9.60 L/s
- Longitud de tubería : 0.743
- Factor K : 0.49

Tramo L7,1 – L7:

- Caudal : 14.04 L/s
- Longitud de tubería : 0.00
- Factor K : 0.217

El tramo L7,1 – L7 es un tramo imaginario que sirve para poder aplicar el factor de fricción para la yee instalada en el punto L7

(Ver Ítem 5.4.4)

TRAMO	CAUDAL		DIAMETRO PULG		VALORES HIDRÁULICOS				PERDIDA DE CARGA		
					D(m):	A(m2):	V:	L(m):	k:	f:	H Inicial
L3-L4	Qi (l/s) :	4.87	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.85	m
	Q (l/s) :	4.73			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	9.60			V:	4.16	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0096							H Final:	0.90	m
L4-L7,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.90	m
	Q (l/s) :	9.60			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	9.60			V:	2.66	f:	0.016	hk:	0.18	m
	Qt (m3/s) :	0.0096							H Final:	1.14	m
L7,1-L7	Qi (l/s) :	9.60	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	1.14	m
	Q (l/s) :	4.44			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	14.04			V:	3.89	f:	0.015	hk:	0.17	m
	Qt (m3/s) :	0.0140							H Final:	1.31	m

Tabla 6.1.8 Cálculo Hidráulico (Confluencia L7 – S1 y S2)

Finalmente se tiene una pérdida de carga de 1.31 m en total para este primer recorrido.

6.1.3.4. Confluencia en el punto L7 – Sumidero 3

Se desarrolla el cálculo hidráulico para el segundo recorrido hidráulico del punto de confluencia del punto L7 según la Tabla 6.1.9.

Las longitudes se pueden apreciar gráficamente en el Anexo 1.

Tramo S3 – L5:

- Caudal : 4.44 L/s
- Longitud de tubería : 0.20
- Factor K : $1.45 + 1.125 = 2.575$

Tramo L5 – L6:

- Caudal : 4.44 L/s
- Longitud de tubería : $0.27 + 0.07 = 0.34$
- Factor K : $(16) f = 0.274$

Tramo L6 – L7,2:

- Caudal : 4.44 L/s
- Longitud de tubería : $0.14 + 0.45 = 0.59$
- Factor K : $2.073 + (16) f = 2.365$

Tramo L7,2 – L7:

- Caudal : 14.04 L/s
- Longitud de tubería : 0.00
- Factor K : - 0.036

El tramo L7,2 – L7 es un tramo imaginario que sirve para poder aplicar el factor de fricción para la yee instalada en el punto L7

(Ver Ítem 5.4.4)

TRAMO	CAUDAL		DIAMETRO PULG		VALORES HIDRÁULICOS				PERDIDA DE CARGA			
	Qi (l/s) :	Qt (m3/s) :	D		D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:	H Final:
S3-L5	4.44		D	2	0.0542	0.20			0.01			0.51
	0.00				0.00		2.575		0.01			
	4.44						1.93	0.018		0.49		
	0.0044											
L5-L6	4.44		D	1.25	0.038	0.34			0.51			0.51
	0.00				0.00		0.274		0.12			
	4.44						3.92	0.017		0.21		
	0.0044											
L6-L7,2	4.44		D	2	0.0542	0.59			0.85			0.85
	0.00				0.00		2.365		0.04			
	4.44						1.93	0.018		0.45		
	0.0044											
L7,2-L7	4.44		D	2.5	0.0678	0.00			1.33			1.33
	9.60				0.00		- 0.036		0.00			
	14.04						3.89	0.015		- 0.03		
	0.0140											

Tabla 6.1.9 Cálculo Hidráulico (Confluencia L7 – Sumidero 3)

En el segundo recorrido hidráulico se presenta una pérdida de carga de 1.31 m en total, valor idéntico al obtenido en el primer recorrido

hidráulico. Debido a ello se puede afirmar que las pérdidas de carga se encuentran balanceadas y que la relación de los 3 caudales es idónea.

6.1.3.5. Equilibrio de Energía del Sistema Sifónico

Previo a la verificación de equilibrio se debe culminar el recorrido hidráulico hasta la descarga de la bajante principal según la Tabla 6.1.10.

Tramo L7 – P2:

- Caudal : 14.04 L/s
- Longitud de tubería : 0.58
- Factor K : (15) f = 0.229

Tramo P2 – L8:

- Caudal : 14.04 L/s
- Longitud de tubería : 0.46 + 0.18 + 2.55 = 3.19
- Factor K : (15 + 16 + 16) f = 0.716

TRAMO	CAUDAL		DIAMETRO PULG		VALORES HIDRÁULICOS				PERDIDA DE CARGA		
					D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	1.31	m
L7-P2	Qi (l/s) :	4.44	D	2.5	A(m2):	0.00	k:	0.229	hf:	0.10	m
	Q (l/s) :	9.60			V:	3.89	f:	0.015	hk:	0.18	m
	Qt (l/s) :	14.04							H Final:	1.58	m
	Qt (m3/s) :	0.0140									
P2-L8	Qi (l/s) :	4.44	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	3.19	H Inicial	1.58	m
	Q (l/s) :	9.60			A(m2):	0.00	k:	0.717	hf:	0.55	m
	Qt (l/s) :	14.04			V:	3.89	f:	0.015	hk:	0.55	m
	Qt (m3/s) :	0.0140							H Final:	2.69	m

Tabla 6.1.10 Cálculo Hidráulico (Descarga L7 – L8)

En el tramo final se tiene una pérdida de carga total de 2.69 m, los cuales se deben usar para el desarrollo de la verificación de equilibrio del sistema usando la siguiente fórmula resultado del análisis del ítem 5.3.

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g} \quad (6.1)$$

La definición del primer término de la ecuación se desarrolla en la Tabla 6.1.11.

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Perdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	2.6600	3.4605	2.68947214	0.77102786
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1605			

Tabla 6.1.11 Primer término de ecuación de equilibrio

La definición del segundo término de la ecuación se desarrolla en la Tabla 6.1.12.

Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.89	0.771027

Tabla 6.1.12 Segundo Término de Ecuación de Equilibrio

De ambos término se obtiene una diferencia de 0.00000041, entonces se puede asegurar que el sistema se encuentra en equilibrio y por ende los caudales asumidos son correctos.

6.1.3.6. Caudales

Se presentan los caudales correspondientes a los sumideros S1, S2 y S3 según el cálculo hidráulico. Ver Tabla 6.1.13..

Escenario N.º 1		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	4.73	14.04
S2	4.87	
S3	4.44	

Tabla 6.1.13 Caudales Teóricos – Escenario 01

6.1.3.7. Presiones

Del cálculo hidráulico se obtiene en primera instancia las presiones al punto medio de la tubería. En la tabla se muestran los valores para la contratación de datos.

Escenario N.º 1		
Manovacuómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	-0.007	-0.07
02	-0.152	-1.55

Tabla 6.1.14 Presiones Teóricas – Escenario 01

6.1.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.1.4.1. Caudales

La comparativa de los caudales teóricos y experimentales (valor promedio) junto con el porcentaje de error se muestran en la Tabla 6.1.15.

Caudales (L/s) - Escenario N.º 1				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	4.73	4.87	4.44	14.04
Experimental	4.68	4.84	4.37	13.89
% Error	1.13%	0.53%	1.65%	1.08%

Tabla 6.1.15 Caudales Teóricos – Escenario 01

6.1.4.2. Presiones

Las presiones experimentales en contraste con el rango teórico previsible se muestran en la Tabla 6.1.16. Para la visualización de las presiones en la gráfica de presiones se recomienda ver el Anexo 02.

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 1			
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02
Rango Teórico	-0.033	-0.110	-1.377
Teórico Promedio	-0.071		-1.553
Experimental	-0.061		-1.371

Tabla 6.1.16 Caudales Teóricos – Escenario 01

Se presenta el diagrama de presiones correspondientes al escenario 01 en el Gráfico 6.1 donde se indica las presiones experimentales de los manovacuómetros junto con las presiones teóricas del sistema. Los puntos de referencia del diagrama se encuentran detallados en el Anexo 3.

DIAGRAMAS DE PRESIÓN General

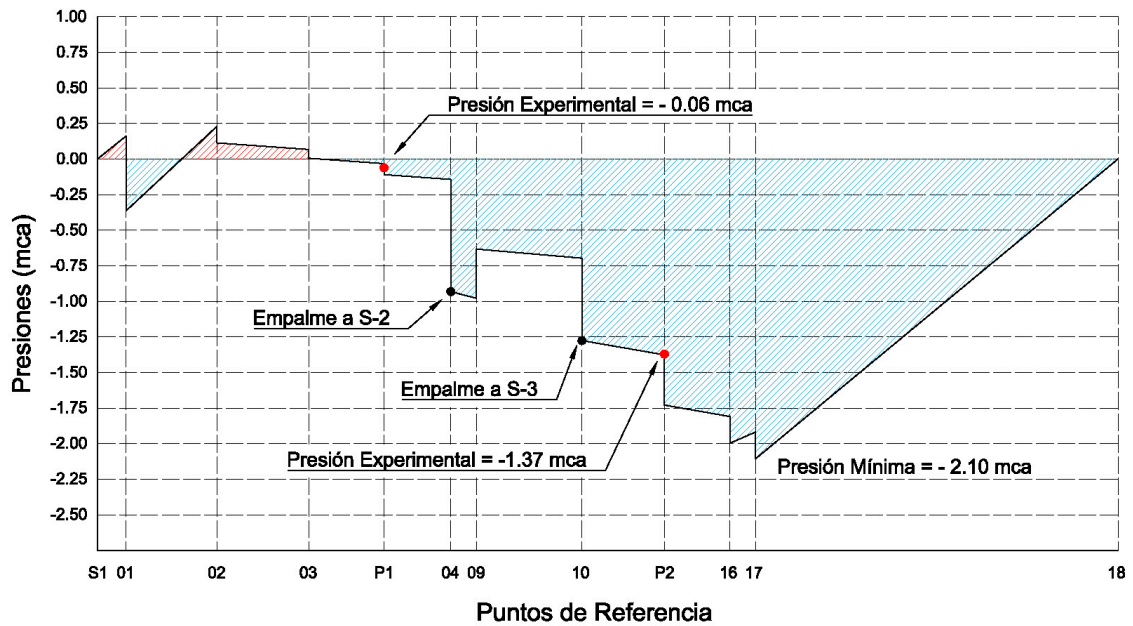


Gráfico 6.1 Diagrama de Presión – Escenario 01

Para mayor detalle del diagrama de presiones revisar el Anexo 4.

6.2. ESCENARIO 02

6.2.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 2.56 metros y fue realizado el 02 de agosto del 2021.

6.2.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.2.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 2		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	19.00	18.30
02	19.50	18.50
03	15.50	15.50

Tabla 6.2.1 Niveles de contenedor – Escenario 02

6.2.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 2			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	39.00	3.00	13.00
02	39.45	3.00	13.15
03	40.80	3.00	13.60

Tabla 6.2.2 Caudal Total Experimental– Escenario 02

6.2.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 2				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	45.25	10.00	4.53
	02	45.60	10.00	4.56
	03	45.55	10.00	4.56
S2	01	46.80	10.00	4.68
	02	47.30	10.00	4.73
	03	46.90	10.00	4.69
S3	01	42.55	10.00	4.26
	02	42.40	10.00	4.24
	03	42.50	10.00	4.25

Tabla 6.2.3 Caudales Experimentales– Escenario 02

6.2.2.4. Presiones.

Escenario N.º 3			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	-0.003	-0.03	0.00
02	-0.122	-1.25	-1.22

Tabla 6.2.4 Presiones Experimentales – Escenario 02

6.2.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.2.3.1. Caudales

Escenario N.º 2		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	4.70	13.90
S2	4.81	
S3	4.39	

Tabla 6.2.5 Caudales Teóricos – Escenario 02

6.2.3.2. Presiones

Escenario N.º 2		
Manovacúómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	-0.004	-0.04
02	-0.146	-1.49

Tabla 6.2.6 Presiones Teóricas – Escenario 02

6.2.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.2.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 2				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	4.70	4.81	4.39	13.90
Experimental	4.55	4.70	4.25	13.50
% Error	3.43%	2.35%	3.23%	2.99%

Tabla 6.2.7 Caudales Teóricos – Escenario 02

6.2.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 2				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.000	-0.076	-1.318	-1.664
Teórico Promedio	-0.038		-1.491	
Experimental	-0.012		-1.249	

Tabla 6.2.8 Caudales Teóricos – Escenario 02

6.3. ESCENARIO 03

6.3.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 2.46 metros y fue realizado el 03 de agosto del 2021.

6.3.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.3.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 3		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	17.50	17.00
02	15.50	15.00
03	14.50	14.50

Tabla 6.3.1 Niveles de contenedor – Escenario 03

6.3.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 3			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	37.30	3.00	12.43
02	40.45	3.00	13.48
03	40.00	3.00	13.33

Tabla 6.3.2 Caudal Total Experimental– Escenario 03

6.3.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 3				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	45.10	10.00	4.51
	02	44.85	10.00	4.49
	03	45.15	10.00	4.52
	04	44.65	10.00	4.47
	05	45.25	10.00	4.53
S2	01	46.00	10.00	4.60
	02	45.75	10.00	4.58
	03	46.00	10.00	4.60
S3	01	41.55	10.00	4.16
	02	41.50	10.00	4.15
	03	41.35	10.00	4.14

Tabla 6.3.3 Caudales Experimentales– Escenario 03

6.3.2.4. Presiones.

Escenario N.º 3			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	-0.003	-0.03	0.00
02	-0.122	-1.25	-1.22

Tabla 6.3.4 Presiones Experimentales – Escenario 03

6.3.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.3.3.1. Caudales

Escenario N.º 3		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	4.66	13.67
S2	4.69	
S3	4.33	

Tabla 6.3.5 Caudales Teóricos – Escenario 03

6.3.3.2. Presiones

Escenario N.º 3		
Manovacúómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	-0.003	-0.03
02	-0.141	-1.44

Tabla 6.3.6 Presiones Teóricas – Escenario 03

6.3.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.3.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 3				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	4.66	4.69	4.33	13.67
Experimental	4.50	4.59	4.15	13.24
% Error	3.45%	2.07%	4.45%	3.28%

Tabla 6.3.7 Caudales Teóricos – Escenario 03

6.3.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 3				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.003	-0.072	-1.270	-1.607
Teórico Promedio	-0.035		-1.439	
Experimental	-0.001		-1.218	

Tabla 6.3.8 Caudales Teóricos – Escenario 03

6.4. ESCENARIO 04

6.4.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 2.36 metros y fue realizado el 05 de agosto del 2021.

6.4.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.4.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 4		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	15.50	15.50
02	17.00	15.70
03	14.50	14.00

Tabla 6.4.1 Niveles de contenedor – Escenario 04

6.4.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 4			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	39.45	3.00	13.15
02	38.10	3.00	12.70
03	38.50	3.00	12.83

Tabla 6.4.2 Caudal Total Experimental– Escenario 04

6.4.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 4				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	43.90	10.00	4.39
	02	43.80	10.00	4.38
	03	43.70	10.00	4.37
S2	01	45.00	10.00	4.50
	02	44.50	10.00	4.45
	03	44.65	10.00	4.47
S3	01	42.10	10.00	4.21
	02	41.50	10.00	4.15
	03	41.90	10.00	4.19

Tabla 6.4.3 Caudales Experimentales– Escenario 04

6.4.2.4. Presiones.

Escenario N.º 4			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.001	0.01	0.04
02	-0.118	-1.20	-1.17

Tabla 6.4.4 Presiones Experimentales – Escenario 04

6.4.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.4.3.1. Caudales

Escenario N.º 4		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	4.55	13.48
S2	4.66	
S3	4.27	

Tabla 6.4.5 Caudales Teóricos – Escenario 04

6.4.3.2. Presiones

Escenario N.º 4		
Manovacuómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	-0.001	-0.01
02	-0.135	-1.38

Tabla 6.4.6 Presiones Teóricas – Escenario 04

6.4.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.4.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 4				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	4.55	4.66	4.27	13.48
Experimental	4.38	4.47	4.18	13.04
% Error	3.90%	4.19%	2.01%	3.39%

Tabla 6.4.7 Caudales Teóricos – Escenario 04

6.4.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 4				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.023	-0.050	-1.217	-1.545
Teórico Promedio	-0.014		-1.381	
Experimental	0.043		-1.170	

Tabla 6.4.8 Caudales Teóricos – Escenario 04

6.5. ESCENARIO 05

6.5.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 2.26 metros y fue realizado el 06 de agosto del 2021.

6.5.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.5.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 5		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	17.00	17.00
02	19.00	19.50
03	17.50	18.00

Tabla 6.5.1 Niveles de contenedor – Escenario 05

6.5.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 5			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	36.25	3.00	12.08
02	38.15	3.00	12.72
03	37.85	3.00	12.62

Tabla 6.5.2 Caudal Total Experimental– Escenario 05

6.5.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 5				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	42.15	10.00	4.22
	02	42.55	10.00	4.26
	03	42.15	10.00	4.22
	04	42.10	10.00	4.21
S2	01	44.05	10.00	4.41
	02	43.90	10.00	4.39
	03	44.25	10.00	4.43
S3	01	40.10	10.00	4.01
	02	40.14	10.00	4.01
	03	40.20	10.00	4.02

Tabla 6.5.3 Caudales Experimentales– Escenario 05

6.5.2.4. Presiones.

Escenario N.º 5			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.003	0.03	0.06
02	-0.113	-1.15	-1.12

Tabla 6.5.4 Presiones Experimentales – Escenario 05

6.5.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.5.3.1. Caudales

Escenario N.º 5		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	4.46	13.36
S2	4.65	
S3	4.25	

Tabla 6.5.5 Caudales Teóricos – Escenario 05

6.5.3.2. Presiones

Escenario N.º 5		
Manovacúómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.003	0.03
02	-0.129	-1.31

Tabla 6.5.6 Presiones Teóricas – Escenario 05

6.5.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.5.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 5				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	4.46	4.65	4.25	13.36
Experimental	4.22	4.41	4.01	12.65
% Error	5.58%	5.52%	5.77%	5.62%

Tabla 6.5.7 Caudales Teóricos – Escenario 05

6.5.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 5				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.067	-0.002	-1.152	-1.474
Teórico Promedio	0.032		-1.313	
Experimental	0.062		-1.119	

Tabla 6.5.8 Caudales Teóricos – Escenario 05

6.6. ESCENARIO 06

6.6.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 2.16 metros y fue realizado el 06 de agosto del 2021.

6.6.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.6.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 6		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	17.50	16.00
02	16.50	16.00
03	16.50	15.00

Tabla 6.6.1 Niveles de contenedor – Escenario 06

6.6.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 6			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	38.25	3.00	12.75
02	38.05	3.00	12.68
03	37.60	3.00	12.53
04	37.30	3.00	12.43
05	37.25	3.00	12.42

Tabla 6.6.2 Caudal Total Experimental– Escenario 06

6.6.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 6				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	41.75	10.00	4.18
	02	41.90	10.00	4.19
	03	41.70	10.00	4.17
S2	01	43.35	10.00	4.34
	02	44.00	10.00	4.40
	03	43.70	10.00	4.37
S3	01	39.55	10.00	3.96
	02	39.95	10.00	4.00
	03	39.45	10.00	3.95

Tabla 6.6.3 Caudales Experimentales– Escenario 06

6.6.2.4. Presiones.

Escenario N.º 6			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.005	0.05	0.08
02	-0.106	-1.08	-1.05

Tabla 6.6.4 Presiones Experimentales – Escenario 06

6.6.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.6.3.1. Caudales

Escenario N.º 6		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	4.42	13.10
S2	4.52	
S3	4.16	

Tabla 6.6.5 Caudales Teóricos – Escenario 06

6.6.3.2. Presiones

Escenario N.º 6		
Manovacúómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.003	0.03
02	-0.124	-1.26

Tabla 6.6.6 Presiones Teóricas – Escenario 06

6.6.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.6.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 6				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	4.42	4.52	4.16	13.10
Experimental	4.18	4.37	3.97	12.51
% Error	5.87%	3.58%	4.83%	4.74%

Tabla 6.6.7 Caudales Teóricos – Escenario 06

6.6.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 6				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.069	0.000	-1.105	-1.416
Teórico Promedio	0.034		-1.260	
Experimental	0.078		-1.053	

Tabla 6.6.8 Caudales Teóricos – Escenario 06

6.7. ESCENARIO 07

6.7.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 2.06 metros y fue realizado el 07 de agosto del 2021.

6.7.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.7.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 7		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	16.50	14.50
02	18.50	16.25
03	16.00	15.50

Tabla 6.7.1 Niveles de contenedor – Escenario 07

6.7.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 7			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	36.45	3.00	12.15
02	37.30	3.00	12.43
03	37.15	3.00	12.38

Tabla 6.7.2 Caudal Total Experimental– Escenario 07

6.7.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 7				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	41.90	10.00	4.19
	02	41.10	10.00	4.11
	03	41.55	10.00	4.16
S2	01	42.65	10.00	4.27
	02	42.50	10.00	4.25
	03	42.75	10.00	4.28
	02	0.00	10.00	0.00
	03	0.00	10.00	0.00
S3	01	38.60	10.00	3.86
	02	38.53	10.00	3.85
	03	38.50	10.00	3.85

Tabla 6.7.3 Caudales Experimentales– Escenario 07

6.7.2.4. Presiones.

Escenario N.º 7			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.009	0.10	0.13
02	-0.097	-0.99	-0.96

Tabla 6.7.4 Presiones Experimentales – Escenario 07

6.7.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.7.3.1. Caudales

Escenario N.º 7		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	4.31	12.90
S2	4.48	
S3	4.11	

Tabla 6.7.5 Caudales Teóricos – Escenario 07

6.7.3.2. Presiones

Escenario N.º 7		
Manovacúómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.005	0.06
02	-0.118	-1.20

Tabla 6.7.6 Presiones Teóricas – Escenario 07

6.7.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.7.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 7				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	4.31	4.48	4.11	12.90
Experimental	4.15	4.26	3.85	12.27
% Error	3.88%	5.06%	6.52%	5.12%

Tabla 6.7.7 Caudales Teóricos – Escenario 07

6.7.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 7			
Referencia	Manovacúómetro P-01		Manovacúómetro P-02
Rango Teórico	0.088	0.023	-1.050 -1.352
Teórico Promedio	0.056		-1.201
Experimental	0.126		-0.963

Tabla 6.7.8 Caudales Teóricos – Escenario 07

6.8. ESCENARIO 08

6.8.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 1.95 metros y fue realizado el 09 de agosto del 2021.

6.8.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.8.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 8		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	18.80	17.50
02	16.50	14.20
03	17.50	15.70

Tabla 6.8.1 Niveles de contenedor – Escenario 08

6.8.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 8			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	37.55	3.00	12.52
02	36.95	3.00	12.32
03	36.90	3.00	12.30

Tabla 6.8.2 Caudal Total Experimental– Escenario 08

6.8.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 8				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	41.45	10.00	4.15
	02	41.40	10.00	4.14
	03	41.80	10.00	4.18
	04	41.15	10.00	4.12
S2	01	42.05	10.00	4.21
	02	42.05	10.00	4.21
S3	01	39.90	10.00	3.99
	02	39.95	10.00	4.00
	03	39.80	10.00	3.98

Tabla 6.8.3 Caudales Experimentales– Escenario 08

6.8.2.4. Presiones.

Escenario N.º 8			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.011	0.11	0.14
02	-0.095	-0.96	-0.93

Tabla 6.8.4 Presiones Experimentales – Escenario 08

6.8.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.8.3.1. Caudales

Escenario N.º 8		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	4.34	12.68
S2	4.31	
S3	4.03	

Tabla 6.8.5 Caudales Teóricos – Escenario 08

6.8.3.2. Presiones

Escenario N.º 8		
Manovacuómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.008	0.08
02	-0.111	-1.13

Tabla 6.8.6 Presiones Teóricas – Escenario 08

6.8.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.8.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 8				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	4.34	4.31	4.03	12.68
Experimental	4.15	4.21	3.99	12.34
% Error	4.59%	2.58%	1.12%	2.79%

Tabla 6.8.7 Caudales Teóricos – Escenario 08

6.8.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 8				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.111	0.045	-0.986	-1.279
Teórico Promedio	0.078		-1.133	
Experimental	0.140		-0.935	

Tabla 6.8.8 Caudales Teóricos – Escenario 08

6.9. ESCENARIO 09

6.9.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 1.85 metros y fue realizado el 11 de agosto del 2021.

6.9.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.9.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 9		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	18.00	16.50
02	19.00	17.50
03	15.00	14.50

Tabla 6.9.1 Niveles de contenedor – Escenario 09

6.9.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 9			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	35.55	3.00	11.85
02	37.30	3.00	12.43
03	35.85	3.00	11.95

Tabla 6.9.2 Caudal Total Experimental– Escenario 09

6.9.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 9				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	40.85	10.00	4.09
	02	40.05	10.00	4.01
	03	40.50	10.00	4.05
	04	39.95	10.00	4.00
S2	01	41.40	10.00	4.14
	02	41.45	10.00	4.15
S3	01	38.40	10.00	3.84
	02	38.50	10.00	3.85

Tabla 6.9.3 Caudales Experimentales– Escenario 09

6.9.2.4. Presiones.

Escenario N.º 9			
Manovacuómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.013	0.13	0.16
02	-0.088	-0.90	-0.87

Tabla 6.9.4 Presiones Experimentales – Escenario 09

6.9.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.9.3.1. Caudales

Escenario N.º 9		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	4.20	12.48
S2	4.34	
S3	3.94	

Tabla 6.9.5 Caudales Teóricos – Escenario 09

6.9.3.2. Presiones

Escenario N.º 9		
Manovacuómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.011	0.11
02	-0.105	-1.07

Tabla 6.9.6 Presiones Teóricas – Escenario 09

6.9.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.9.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 9				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	4.20	4.34	3.94	12.48
Experimental	4.03	4.14	3.85	12.02
% Error	4.20%	4.84%	2.41%	3.85%

Tabla 6.9.7 Caudales Teóricos – Escenario 09

6.9.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 9				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.142	0.079	-0.927	-1.212
Teórico Promedio	0.111		-1.070	
Experimental	0.161		-0.873	

Tabla 6.9.8 Caudales Teóricos – Escenario 09

6.10. ESCENARIO 10

6.10.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 1.75 metros y fue realizado el 12 de agosto del 2021.

6.10.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.10.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 10		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	17.70	16.00
02	17.00	14.00
03	15.70	13.00

Tabla 6.10.1 Niveles de contenedor – Escenario 10

6.10.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 10			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	37.50	3.00	12.50
02	36.55	3.00	12.18
03	35.75	3.00	11.92
04	34.15	3.00	11.38
05	34.85	3.00	11.62

Tabla 6.10.2 Caudal Total Experimental– Escenario 10

6.10.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 10				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	39.70	10.00	3.97
	02	39.80	10.00	3.98
S2	01	41.30	10.00	4.13
	02	41.60	10.00	4.16
	03	41.50	10.00	4.15
S3	01	38.00	10.00	3.80
	02	37.85	10.00	3.79
	03	37.90	10.00	3.79

Tabla 6.10.3 Caudales Experimentales– Escenario 10

6.10.2.4. Presiones.

Escenario N.º 10			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.013	0.13	0.16
02	-0.083	-0.84	-0.81

Tabla 6.10.4 Presiones Experimentales – Escenario 10

6.10.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.10.3.1. Caudales

Escenario N.º 10		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	4.17	12.22
S2	4.19	
S3	3.86	

Tabla 6.10.5 Caudales Teóricos – Escenario 10

6.10.3.2. Presiones

Escenario N.º 10		
Manovacuómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.011	0.12
02	-0.099	-1.01

Tabla 6.10.6 Presiones Teóricas – Escenario 10

6.10.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.10.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 10				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	4.17	4.19	3.86	12.22
Experimental	3.98	4.15	3.79	11.92
% Error	4.73%	1.03%	1.86%	2.53%

Tabla 6.10.7 Caudales Teóricos – Escenario 10

6.10.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 10				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.148	0.086	-0.876	-1.150
Teórico Promedio	0.117		-1.013	
Experimental	0.161		-0.815	

Tabla 6.10.8 Caudales Teóricos – Escenario 10

6.11. ESCENARIO 11

6.11.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 1.65 metros y fue realizado el 13 de agosto del 2021.

6.11.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.11.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 11		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	17.70	15.50
02	16.50	14.50
03	17.00	15.50

Tabla 6.11.1 Niveles de contenedor – Escenario 11

6.11.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 11			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	36.25	3.00	12.08
02	33.45	3.00	11.15
03	35.70	3.00	11.90
04	33.35	3.00	11.12
05	36.10	3.00	12.03

Tabla 6.11.2 Caudal Total Experimental – Escenario 11

6.11.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 11				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	39.20	10.00	3.92
	02	39.00	10.00	3.90
	03	38.95	10.00	3.90
S2	01	40.40	10.00	4.04
	02	40.55	10.00	4.06
	03	40.35	10.00	4.04
S3	01	37.15	10.00	3.72
	02	36.75	10.00	3.68
	03	36.75	10.00	3.68

Tabla 6.11.3 Caudales Experimentales– Escenario 11

6.11.2.4. Presiones.

Escenario N.º 11			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.018	0.18	0.21
02	-0.075	-0.76	-0.73

Tabla 6.11.4 Presiones Experimentales – Escenario 11

6.11.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.11.3.1. Caudales

Escenario N.º 11		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	4.06	12.02
S2	4.12	
S3	3.83	

Tabla 6.11.5 Caudales Teóricos – Escenario 11

6.11.3.2. Presiones

Escenario N.º 11		
Manovacuómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.014	0.14
02	-0.093	-0.95

Tabla 6.11.6 Presiones Teóricas – Escenario 11

6.11.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.11.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 11				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	4.06	4.12	3.83	12.02
Experimental	3.91	4.04	3.69	11.64
% Error	4.02%	2.01%	3.87%	3.27%

Tabla 6.11.7 Caudales Teóricos – Escenario 11

6.11.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 11				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.174	0.115	-0.815	-1.081
Teórico Promedio	0.145		-0.948	
Experimental	0.213		-0.732	

Tabla 6.11.8 Caudales Teóricos – Escenario 11

6.12. ESCENARIO 12

6.12.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 1.55 metros y fue realizado el 13 de agosto del 2021.

6.12.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.12.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 12		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	18.20	15.50
02	18.00	16.50
03	17.70	15.50

Tabla 6.12.1 Niveles de contenedor – Escenario 12

6.12.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 12			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	34.95	3.00	11.65
02	35.20	3.00	11.73
03	34.95	3.00	11.65

Tabla 6.12.2 Caudal Total Experimental– Escenario 12

6.12.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 12				
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)	
S1	01	38.45	10.00	3.85
	02	38.40	10.00	3.84
S2	01	39.80	10.00	3.98
	02	40.20	10.00	4.02
	03	40.00	10.00	4.00
S3	01	35.65	10.00	3.57
	02	35.80	10.00	3.58
	03	35.90	10.00	3.59

Tabla 6.12.3 Caudales Experimentales– Escenario 12

6.12.2.4. Presiones.

Escenario N.º 12			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.020	0.20	0.23
02	-0.067	-0.68	-0.65

Tabla 6.12.4 Presiones Experimentales – Escenario 12

6.12.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.12.3.1. Caudales

Escenario N.º 12		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	3.94	11.76
S2	4.08	
S3	3.74	

Tabla 6.12.5 Caudales Teóricos – Escenario 12

6.12.3.2. Presiones

Escenario N.º 12		
Manovacúómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.018	0.18
02	-0.085	-0.87

Tabla 6.12.6 Presiones Teóricas – Escenario 12

6.12.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.12.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 12				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	3.94	4.08	3.74	11.76
Experimental	3.84	4.00	3.58	11.42
% Error	2.60%	2.11%	4.39%	2.99%

Tabla 6.12.7 Caudales Teóricos – Escenario 12

6.12.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 12				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.209	0.153	-0.742	-0.998
Teórico Promedio	0.181		-0.870	
Experimental	0.234		-0.654	

Tabla 6.12.8 Caudales Teóricos – Escenario 12

6.13. ESCENARIO 13

6.13.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 1.45 metros y fue realizado el 14 de agosto del 2021.

6.13.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.13.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 13		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	16.20	14.00
02	16.20	15.20
03	15.50	14.50

Tabla 6.13.1 Niveles de contenedor – Escenario 13

6.13.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 13			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	33.10	3.00	11.03
02	32.85	3.00	10.95
03	31.80	3.00	10.60

Tabla 6.13.2 Caudal Total Experimental– Escenario 13

6.13.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 13				
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)	
S1	01	36.90	10.00	3.69
	02	37.05	10.00	3.71
	03	37.05	10.00	3.71
S2	01	38.60	10.00	3.86
	02	38.55	10.00	3.86
S3	01	35.85	10.00	3.59
	02	35.95	10.00	3.60
	03	35.85	10.00	3.59

Tabla 6.13.3 Caudales Experimentales– Escenario 13

6.13.2.4. Presiones.

Escenario N.º 13			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.023	0.23	0.26
02	-0.064	-0.66	-0.63

Tabla 6.13.4 Presiones Experimentales – Escenario 13

6.13.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.13.3.1. Caudales

Escenario N.º 13		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	3.84	11.49
S2	3.99	
S3	3.66	

Tabla 6.13.5 Caudales Teóricos – Escenario 13

6.13.3.2. Presiones

Escenario N.º 13		
Manovacúómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.019	0.20
02	-0.079	-0.81

Tabla 6.13.6 Presiones Teóricas – Escenario 13

6.13.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.13.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 13				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	3.84	3.99	3.66	11.49
Experimental	3.70	3.86	3.59	11.15
% Error	3.86%	3.53%	1.87%	3.11%

Tabla 6.13.7 Caudales Teóricos – Escenario 13

6.13.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 13				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.222	0.169	-0.687	-0.932
Teórico Promedio	0.195		-0.809	
Experimental	0.262		-0.625	

Tabla 6.13.8 Caudales Teóricos – Escenario 13

6.14. ESCENARIO 14

6.14.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 1.35 metros y fue realizado el 16 de agosto del 2021.

6.14.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.14.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 14		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	18.00	16.70
02	19.20	18.70
03	18.00	17.60

Tabla 6.14.1 Niveles de contenedor – Escenario 14

6.14.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 14			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	32.15	3.00	10.72
02	32.10	3.00	10.70
03	0.00	3.00	0.00

Tabla 6.14.2 Caudal Total Experimental– Escenario 14

6.14.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 14				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	35.60	10.00	3.56
	02	36.20	10.00	3.62
	03	35.85	10.00	3.59
	04	36.25	10.00	3.63
S2	01	38.25	10.00	3.83
	02	38.55	10.00	3.86
	03	38.20	10.00	3.82
S3	01	35.25	10.00	3.53
	02	35.30	10.00	3.53

Tabla 6.14.3 Caudales Experimentales– Escenario 14

6.14.2.4. Presiones.

Escenario N.º 14			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.026	0.27	0.30
02	-0.062	-0.63	-0.60

Tabla 6.14.4 Presiones Experimentales – Escenario 14

6.14.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.14.3.1. Caudales

Escenario N.º 14		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	3.77	11.33
S2	3.96	
S3	3.61	

Tabla 6.14.5 Caudales Teóricos – Escenario 14

6.14.3.2. Presiones

Escenario N.º 14		
Manovacuómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.024	0.24
02	-0.072	-0.74

Tabla 6.14.6 Presiones Teóricas – Escenario 14

6.14.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.14.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 14				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	3.77	3.96	3.61	11.33
Experimental	3.60	3.83	3.53	10.96
% Error	4.86%	3.23%	2.21%	3.44%

Tabla 6.14.7 Caudales Teóricos – Escenario 14

6.14.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 14				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.268	0.217	-0.617	-0.856
Teórico Promedio	0.243		-0.736	
Experimental	0.299		-0.599	

Tabla 6.14.8 Caudales Teóricos – Escenario 14

6.15. ESCENARIO 15

6.15.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 1.25 metros y fue realizado el 17 de agosto del 2021.

6.15.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.15.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 15		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	17.50	16.00
02	18.70	15.70
03	16.00	13.50

Tabla 6.15.1 Niveles de contenedor – Escenario 15

6.15.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 15			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	31.65	3.00	10.55
02	31.90	3.00	10.63
03	31.70	3.00	10.57

Tabla 6.15.2 Caudal Total Experimental– Escenario 15

6.15.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 15				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	35.30	10.00	3.53
	02	36.15	10.00	3.62
	03	36.15	10.00	3.62
S2	01	37.25	10.00	3.73
	02	37.50	10.00	3.75
	03	37.40	10.00	3.74
S3	01	34.70	10.00	3.47
	02	34.40	10.00	3.44
	03	34.45	10.00	3.45

Tabla 6.15.3 Caudales Experimentales– Escenario 15

6.15.2.4. Presiones.

Escenario N.º 15			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.030	0.30	0.33
02	-0.054	-0.56	-0.53

Tabla 6.15.4 Presiones Experimentales – Escenario 15

6.15.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.15.3.1. Caudales

Escenario N.º 15		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	3.74	11.08
S2	3.83	
S3	3.51	

Tabla 6.15.5 Caudales Teóricos – Escenario 15

6.15.3.2. Presiones

Escenario N.º 15		
Manovacúómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.024	0.25
02	-0.068	-0.69

Tabla 6.15.6 Presiones Teóricas – Escenario 15

6.15.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.15.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 15				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	3.74	3.83	3.51	11.08
Experimental	3.59	3.74	3.45	10.78
% Error	4.24%	2.39%	1.75%	2.80%

Tabla 6.15.7 Caudales Teóricos – Escenario 15

6.15.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 15				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.271	0.220	-0.575	-0.804
Teórico Promedio	0.245		-0.690	
Experimental	0.334		-0.526	

Tabla 6.15.8 Caudales Teóricos – Escenario 15

6.16. ESCENARIO 16

6.16.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 1.15 metros y fue realizado el 17 de agosto del 2021.

6.16.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.16.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 16		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	17.50	17.00
02	20.00	18.50
03	17.50	17.50

Tabla 6.16.1 Niveles de contenedor – Escenario 16

6.16.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 16			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	31.05	3.00	10.35
02	30.20	3.00	10.07
03	32.00	3.00	10.67

Tabla 6.16.2 Caudal Total Experimental– Escenario 16

6.16.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 16				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	35.15	10.00	3.52
	02	35.05	10.00	3.51
	03	34.95	10.00	3.50
S2	01	36.85	10.00	3.69
	02	37.25	10.00	3.73
	03	37.50	10.00	3.75
	04	37.25	10.00	3.73
S3	01	34.10	10.00	3.41
	02	33.90	10.00	3.39
	03	33.70	10.00	3.37
	04	33.90	10.00	3.39

Tabla 6.16.3 Caudales Experimentales– Escenario 16

6.16.2.4. Presiones.

Escenario N.º 16			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.030	0.31	0.34
02	-0.048	-0.49	-0.46

Tabla 6.16.4 Presiones Experimentales – Escenario 16

6.16.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.16.3.1. Caudales

Escenario N.º 16		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	3.63	10.88
S2	3.79	
S3	3.46	

Tabla 6.16.5 Caudales Teóricos – Escenario 16

6.16.3.2. Presiones

Escenario N.º 16		
Manovacúómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.028	0.29
02	-0.061	-0.62

Tabla 6.16.6 Presiones Teóricas – Escenario 16

6.16.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.16.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 16				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	3.63	3.79	3.46	10.88
Experimental	3.51	3.72	3.39	10.62
% Error	3.52%	1.97%	2.04%	2.51%

Tabla 6.16.7 Caudales Teóricos – Escenario 16

6.16.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 16			
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02
Rango Teórico	0.310	0.262	-0.507 -0.729
Teórico Promedio	0.286		-0.618
Experimental	0.341		-0.457

Tabla 6.16.8 Caudales Teóricos – Escenario 16

6.17. ESCENARIO 17

6.17.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 1.05 metros y fue realizado el 18 de agosto del 2021.

6.17.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.17.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 17		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	17.70	17.70
02	21.00	19.00
03	16.00	16.00

Tabla 6.17.1 Niveles de contenedor – Escenario 17

6.17.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 17			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	31.00	3.00	10.33
02	29.70	3.00	9.90
03	31.10	3.00	10.37
04	31.00	3.00	10.33

Tabla 6.17.2 Caudal Total Experimental– Escenario 17

6.17.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 17				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	34.10	10.00	3.41
	02	34.45	10.00	3.45
	03	34.30	10.00	3.43
S2	01	36.75	10.00	3.68
	02	36.80	10.00	3.68
	03	36.85	10.00	3.69
S3	01	33.20	10.00	3.32
	02	33.05	10.00	3.31
	03	33.10	10.00	3.31

Tabla 6.17.3 Caudales Experimentales– Escenario 17

6.17.2.4. Presiones.

Escenario N.º 17			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.032	0.32	0.35
02	-0.044	-0.45	-0.42

Tabla 6.17.4 Presiones Experimentales – Escenario 17

6.17.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.17.3.1. Caudales

Escenario N.º 17		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	3.56	10.62
S2	3.72	
S3	3.34	

Tabla 6.17.5 Caudales Teóricos – Escenario 17

6.17.3.2. Presiones

Escenario N.º 17		
Manovacuómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.031	0.31
02	-0.054	-0.55

Tabla 6.17.6 Presiones Teóricas – Escenario 17

6.17.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.17.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 17				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	3.56	3.72	3.34	10.62
Experimental	3.43	3.68	3.31	10.42
% Error	3.83%	1.03%	0.89%	1.91%

Tabla 6.17.7 Caudales Teóricos – Escenario 17

6.17.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 17				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.335	0.289	-0.446	-0.658
Teórico Promedio	0.312		-0.552	
Experimental	0.354		-0.418	

Tabla 6.17.8 Caudales Teóricos – Escenario 17

6.18. ESCENARIO 18

6.18.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 0.95 metros y fue realizado el 18 de agosto del 2021.

6.18.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.18.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 18		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	20.00	17.70
02	22.30	20.30
03	17.70	16.30

Tabla 6.18.1 Niveles de contenedor – Escenario 18

6.18.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 18			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	29.35	3.00	9.78
02	29.95	3.00	9.98
03	29.30	3.00	9.77

Tabla 6.18.2 Caudal Total Experimental– Escenario 18

6.18.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 18				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	33.40	10.00	3.34
	02	33.30	10.00	3.33
	03	33.10	10.00	3.31
S2	01	35.50	10.00	3.55
	02	35.25	10.00	3.53
	03	35.25	10.00	3.53
S3	01	31.60	10.00	3.16
	02	31.55	10.00	3.16
	03	31.45	10.00	3.15

Tabla 6.18.3 Caudales Experimentales– Escenario 18

6.18.2.4. Presiones.

Escenario N.º 18			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.035	0.35	0.38
02	-0.036	-0.37	-0.34

Tabla 6.18.4 Presiones Experimentales – Escenario 18

6.18.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.18.3.1. Caudales

Escenario N.º 18		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	3.45	10.36
S2	3.66	
S3	3.25	

Tabla 6.18.5 Caudales Teóricos – Escenario 18

6.18.3.2. Presiones

Escenario N.º 18		
Manovacúómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.034	0.34
02	-0.047	-0.48

Tabla 6.18.6 Presiones Teóricas – Escenario 18

6.18.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.18.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 18				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	3.45	3.66	3.25	10.36
Experimental	3.33	3.53	3.15	10.01
% Error	3.59%	3.69%	3.18%	3.50%

Tabla 6.18.7 Caudales Teóricos – Escenario 18

6.18.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 18				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.364	0.320	-0.382	-0.585
Teórico Promedio	0.342		-0.483	
Experimental	0.385		-0.342	

Tabla 6.18.8 Caudales Teóricos – Escenario 18

6.19. ESCENARIO 19

6.19.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 0.85 metros y fue realizado el 19 de agosto del 2021.

6.19.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.19.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 19		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	21.20	18.40
02	19.50	17.00
03	18.70	16.70

Tabla 6.19.1 Niveles de contenedor – Escenario 19

6.19.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 19			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	29.20	3.00	9.73
02	29.05	3.00	9.68
03	28.80	3.00	9.60
04	29.25	3.00	9.75

Tabla 6.19.2 Caudal Total Experimental– Escenario 19

6.19.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 19				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	32.65	10.00	3.27
	02	32.65	10.00	3.27
	03	32.50	10.00	3.25
	04	32.70	10.00	3.27
S2	01	33.40	10.00	3.34
	02	33.45	10.00	3.35
	03	33.45	10.00	3.35
S3	01	30.80	10.00	3.08
	02	30.85	10.00	3.09
	03	30.95	10.00	3.10

Tabla 6.19.3 Caudales Experimentales– Escenario 19

6.19.2.4. Presiones.

Escenario N.º 19			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.039	0.39	0.42
02	-0.030	-0.30	-0.27

Tabla 6.19.4 Presiones Experimentales – Escenario 19

6.19.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.19.3.1. Caudales

Escenario N.º 19		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	3.42	10.06
S2	3.45	
S3	3.18	

Tabla 6.19.5 Caudales Teóricos – Escenario 19

6.19.3.2. Presiones

Escenario N.º 19		
Manovacúómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.035	0.36
02	-0.041	-0.42

Tabla 6.19.6 Presiones Teóricas – Escenario 19

6.19.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.19.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 19				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	3.42	3.45	3.18	10.06
Experimental	3.26	3.34	3.09	9.69
% Error	4.79%	3.33%	3.13%	3.76%

Tabla 6.19.7 Caudales Teóricos – Escenario 19

6.19.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 19				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.378	0.335	-0.321	-0.514
Teórico Promedio	0.357		-0.418	
Experimental	0.424		-0.271	

Tabla 6.19.8 Caudales Teóricos – Escenario 19

6.20. ESCENARIO 20

6.20.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 0.75 metros y fue realizado el 19 de agosto del 2021.

6.20.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.20.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 20		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	17.90	18.40
02	17.00	17.20
03	17.00	18.30

Tabla 6.20.1 Niveles de contenedor – Escenario 20

6.20.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 20			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	29.00	3.00	9.67
02	28.50	3.00	9.50
03	27.80	3.00	9.27

Tabla 6.20.2 Caudal Total Experimental – Escenario 20

6.20.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 20				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	31.90	10.00	3.19
	02	31.75	10.00	3.18
	03	31.80	10.00	3.18
S2	01	32.30	10.00	3.23
	02	32.20	10.00	3.22
S3	01	30.75	10.00	3.08
	02	30.60	10.00	3.06
	03	30.45	10.00	3.05
	04	30.65	10.00	3.07

Tabla 6.20.3 Caudales Experimentales– Escenario 20

6.20.2.4. Presiones.

Escenario N.º 20			
Manovacuómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.040	0.40	0.43
02	-0.024	-0.24	-0.21

Tabla 6.20.4 Presiones Experimentales – Escenario 20

6.20.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.20.3.1. Caudales

Escenario N.º 20		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	3.31	9.78
S2	3.35	
S3	3.12	

Tabla 6.20.5 Caudales Teóricos – Escenario 20

6.20.3.2. Presiones

Escenario N.º 20		
Manovacuómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.038	0.39
02	-0.034	-0.35

Tabla 6.20.6 Presiones Teóricas – Escenario 20

6.20.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.20.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 20				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	3.31	3.35	3.12	9.78
Experimental	3.18	3.23	3.06	9.47
% Error	3.98%	3.92%	1.96%	3.31%

Tabla 6.20.7 Caudales Teóricos – Escenario 20

6.20.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 20				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.405	0.365	-0.256	-0.439
Teórico Promedio	0.385		-0.348	
Experimental	0.433		-0.215	

Tabla 6.20.8 Caudales Teóricos – Escenario 20

6.21. ESCENARIO 21

6.21.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 0.65 metros y fue realizado el 20 de agosto del 2021.

6.21.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.21.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 21		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	22.50	22.00
02	21.80	20.50
03	16.20	16.00

Tabla 6.21.1 Niveles de contenedor – Escenario 21

6.21.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 21			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	27.45	3.00	9.15
02	27.40	3.00	9.13
03	27.70	3.00	9.23

Tabla 6.21.2 Caudal Total Experimental– Escenario 21

6.21.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 21				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	30.90	10.00	3.09
	02	30.80	10.00	3.08
	03	30.80	10.00	3.08
S2	01	31.85	10.00	3.19
	02	32.20	10.00	3.22
	03	32.00	10.00	3.20
S3	01	28.90	10.00	2.89
	02	28.80	10.00	2.88
	03	28.90	10.00	2.89

Tabla 6.21.3 Caudales Experimentales– Escenario 21

6.21.2.4. Presiones.

Escenario N.º 21			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.040	0.41	0.44
02	-0.012	-0.12	-0.09

Tabla 6.21.4 Presiones Experimentales – Escenario 21

6.21.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.21.3.1. Caudales

Escenario N.º 21		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	3.28	9.54
S2	3.31	
S3	2.94	

Tabla 6.21.5 Caudales Teóricos – Escenario 21

6.21.3.2. Presiones

Escenario N.º 21		
Manovacúómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.042	0.43
02	-0.027	-0.27

Tabla 6.21.6 Presiones Teóricas – Escenario 21

6.21.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.21.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 21				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	3.28	3.31	2.94	9.54
Experimental	3.08	3.20	2.89	9.17
% Error	6.52%	3.46%	1.88%	3.99%

Tabla 6.21.7 Caudales Teóricos – Escenario 21

6.21.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 21				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.447	0.407	-0.187	-0.362
Teórico Promedio	0.427		-0.274	
Experimental	0.441		-0.087	

Tabla 6.21.8 Caudales Teóricos – Escenario 21

6.22. ESCENARIO 22

6.22.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 0.55 metros y fue realizado el 20 de agosto del 2021.

6.22.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.22.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 22		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	20.00	20.00
02	19.20	19.20
03	18.00	18.00

Tabla 6.22.1 Niveles de contenedor – Escenario 22

6.22.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 22			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	26.45	3.00	8.82
02	25.30	3.00	8.43
03	26.95	3.00	8.98
04	27.00	3.00	9.00

Tabla 6.22.2 Caudal Total Experimental– Escenario 22

6.22.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 22				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	29.80	10.00	2.98
	02	29.90	10.00	2.99
	03	29.60	10.00	2.96
S2	01	30.65	10.00	3.07
	02	29.90	10.00	2.99
	03	31.10	10.00	3.11
	04	30.80	10.00	3.08
	05	30.75	10.00	3.08
S3	01	28.65	10.00	2.87
	02	28.55	10.00	2.86
	03	28.60	10.00	2.86

Tabla 6.22.3 Caudales Experimentales– Escenario 22

6.22.2.4. Presiones.

Escenario N.º 22			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.041	0.42	0.45
02	-0.006	-0.06	-0.03

Tabla 6.22.4 Presiones Experimentales – Escenario 22

6.22.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.22.3.1. Caudales

Escenario N.º 22		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	3.12	9.20
S2	3.18	
S3	2.90	

Tabla 6.22.5 Caudales Teóricos – Escenario 22

6.22.3.2. Presiones

Escenario N.º 22		
Manovacúómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.044	0.45
02	-0.020	-0.21

Tabla 6.22.6 Presiones Teóricas – Escenario 22

6.22.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.22.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 22				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	3.12	3.18	2.90	9.20
Experimental	2.98	3.06	2.86	8.90
% Error	4.88%	3.83%	1.37%	3.39%

Tabla 6.22.7 Caudales Teóricos – Escenario 22

6.22.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 22				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.465	0.429	-0.124	-0.288
Teórico Promedio	0.447		-0.206	
Experimental	0.448		-0.033	

Tabla 6.22.8 Caudales Teóricos – Escenario 22

6.23. ESCENARIO 23

6.23.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 0.45 metros y fue realizado el 21 de agosto del 2021.

6.23.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.23.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 23		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	19.50	19.50
02	18.00	18.10
03	17.80	18.50

Tabla 6.23.1 Niveles de contenedor – Escenario 23

6.23.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 23			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	25.15	3.00	8.38
02	25.00	3.00	8.33
03	24.90	3.00	8.30

Tabla 6.23.2 Caudal Total Experimental – Escenario 23

6.23.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 23				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	27.45	10.00	2.75
	02	27.35	10.00	2.74
	03	27.20	10.00	2.72
S2	01	28.75	10.00	2.88
	02	28.45	10.00	2.85
	03	28.25	10.00	2.83
S3	01	26.90	10.00	2.69
	02	26.65	10.00	2.67
	03	27.10	10.00	2.71
	04	26.70	10.00	2.67

Tabla 6.23.3 Caudales Experimentales– Escenario 23

6.23.2.4. Presiones.

Escenario N.º 23			
Manovacuómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.045	0.46	0.49
02	-0.002	-0.02	0.01

Tabla 6.23.4 Presiones Experimentales – Escenario 23

6.23.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.23.3.1. Caudales

Escenario N.º 23		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	3.01	8.86
S2	3.04	
S3	2.81	

Tabla 6.23.5 Caudales Teóricos – Escenario 23

6.23.3.2. Presiones

Escenario N.º 23		
Manovacuómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.046	0.47
02	-0.013	-0.14

Tabla 6.23.6 Presiones Teóricas – Escenario 23

6.23.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.23.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 23				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	3.01	3.04	2.81	8.86
Experimental	2.73	2.85	2.68	8.27
% Error	10.10%	6.56%	4.83%	7.17%

Tabla 6.23.7 Caudales Teóricos – Escenario 23

6.23.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 23				
Referencia	Manovacuómetro P-01		Manovacuómetro P-02	
Rango Teórico	0.486	0.452	-0.060	-0.213
Teórico Promedio	0.469		-0.136	
Experimental	0.493		0.013	

Tabla 6.23.8 Caudales Teóricos – Escenario 23

6.24. ESCENARIO 24

6.24.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

En este escenario la altura de la bajante principal es de 0.35 metros y fue realizado el 21 de agosto del 2021.

6.24.2. DATOS EXPERIMENTALES

6.24.2.1. Niveles de contenedores

Escenario N.º 24		
Contenedor	Nivel Inicial (cm)	Nivel Final (cm)
01	19.20	17.90
02	16.00	15.20
03	15.50	14.00

Tabla 6.24.1 Niveles de contenedor – Escenario 24

6.24.2.2. Caudal Total

Escenario N.º 24			
Pruebas	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
01	20.70	3.00	6.90
02	20.65	3.00	6.88
03	20.80	3.00	6.93

Tabla 6.24.2 Caudal Total Experimental– Escenario 24

6.24.2.3. Caudales Individuales

Escenario N.º 24				
Pruebas		Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
S1	01	23.00	10.00	2.30
	02	23.25	10.00	2.33
	03	23.10	10.00	2.31
S2	01	23.40	10.00	2.34
	02	23.20	10.00	2.32
	03	23.35	10.00	2.34
S3	01	22.40	10.00	2.24
	02	22.55	10.00	2.26
	03	22.30	10.00	2.23

Tabla 6.24.3 Caudales Experimentales– Escenario 24

6.24.2.4. Presiones.

Escenario N.º 24			
Manovacúómetros	Presión al borde (bar)	Presión al borde (m.c.a.)	Presión al centro (m.c.a.)
01	0.049	0.50	0.53
02	0.009	0.09	0.12

Tabla 6.24.4 Presiones Experimentales – Escenario 24

6.24.3. DATOS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan los cuadros resumen con los valores más importantes del cálculo hidráulico, para mayor detalle revisar el Anexo 01.

6.24.3.1. Caudales

Escenario N.º 24		
Sumidero	Caudal Individual (L/s)	Caudal General (L/s)
S1	2.91	8.40
S2	2.87	
S3	2.62	

Tabla 6.24.5 Caudales Teóricos – Escenario 24

6.24.3.2. Presiones

Escenario N.º 24		
Manovacúómetros	Presión al Centro (bar)	Presión al Centro (m.c.a.)
01	0.047	0.47
02	-0.007	-0.07

Tabla 6.24.6 Presiones Teóricas – Escenario 24

6.24.4. CONTRASTACIÓN DE DATOS

6.24.4.1. Caudales

Caudales (L/s) - Escenario N.º 24				
Referencia	S1	S2	S3	TOTAL
Teórico	2.91	2.87	2.62	8.40
Experimental	2.31	2.33	2.24	6.89
% Error	26.04%	22.88%	17.00%	22.03%

Tabla 6.24.7 Caudales Teóricos – Escenario 24

6.24.4.2. Presiones

Presiones (m.c.a.) - Escenario N.º 24				
Referencia	Manovacúmetro P-01		Manovacúmetro P-02	
Rango Teórico	0.491	0.458	-0.002	-0.141
Teórico Promedio	0.475		-0.072	
Experimental	0.529		0.125	

Tabla 6.24.8 Caudales Teóricos – Escenario 24

6.25. OBSERVACIONES EN CAMPO

6.25.1. OBSERVACIONES GENERALES

6.25.1.1. Cebado

Durante el proceso de cebado en todos los escenarios se pudo apreciar lo siguiente:

- Al inicio del cebado se apreció la generación de ruido causado por el recorrido del agua en las tuberías bajo un flujo en canal.
- Al sobrepasar los niveles de placa del sumidero por 4 cm, solo se observó una reducción del ruido de las bajantes secundarias, deduciendo con ello que estas se estaban cebando primero.
- Durante el cebado los contenedores alcanzaban un nivel inicial y al cabo de un corto tiempo estos empezaban a bajar

rápidamente, de ello se puede afirmar que el sistema empezaba a trabajar a tubo lleno y al generar el arrastre hidráulico se generaba un incremento de la capacidad hidráulica del sistema reduciendo el nivel de los contenedores.

- El tiempo de cebado no fue una variable de medición debido a que requiere mejor equipo de medición; sin embargo, se pudo apreciar que el tiempo de demora del fenómeno explicado en el anterior guion no presentaba ningún cambio significativo durante los primeros 20 escenarios logrando tomar como valor referencial el tiempo medido del escenario 12 resultando en 50 segundos; sin embargo, en los escenarios posteriores se apreció un incremento sustancial llegando hasta los 3 minutos en el escenario 23.
- Después del fenómeno explicado anteriormente, el sistema empezaba a mostrar presiones negativas en el manovacuómetro P-02 y a su vez dejaba de hacer ruido en todo su recorrido. Esto indicaba que el sistema estaba cebado completamente y trabajaba a presión.

6.25.1.2. Estabilización del sistema

Para el proceso de estabilización se pudo notar que el sistema sifónico presenta un proceso de auto compensación entre los niveles de los contenedores.

Para comprender este fenómeno se presenta un escenario donde el nivel de los 3 contenedores es idéntico, para que ello suceda se debe suministrar un caudal exacto en cada contenedor. Supongamos que los caudales de dos contenedores son exactos y el tercero es un tanto mayor, en ese caso el nivel del contenedor 3 aumentará y al hacerlo aumentará el caudal de ese sumidero, en consecuencia, variará la presión aguas abajo. Para que los demás sumideros permitan el paso del caudal necesario para igualar las nuevas presiones los niveles de esos contenedores empezarán a variar hasta que sistema encuentre un nuevo equilibrio y la velocidad a que

cambian los niveles de los contenedores dependerá de que tan grande sea la variación inicial de caudal.

6.25.2. OBSERVACIONES ESPECÍFICAS

6.25.2.1. Escenario 21 (H = 0.65m):

Es este escenario se notó un incremento en el tiempo de cebado, para dar cuenta de ello se tomó el tiempo que demoran los contenedores en bajar de su nivel inicial y mostrarse estables, siendo alrededor de 1 minuto y 30 segundos para este escenario específico.

6.25.2.2. Escenario 22 (H = 0.55m):

Es este escenario el tiempo de cebado fue mayor donde se midió el tiempo de ocurrencia del fenómeno mencionado líneas arriba en 2 minutos

6.25.2.3. Escenario 23 (H = 0.45m):

Es este escenario el tiempo de cebado fue bastante prolongado, al medir el tiempo del fenómeno hidráulico explicado líneas arriba se obtuvo un tiempo de 2: 30 a 3 minutos aproximadamente.

6.25.2.4. Escenario 24 (H = 0.35m):

Es este escenario el sistema no logró cebarse, lo contenedores alcanzaron niveles iniciales y con ello se empezaron a cebar las bajantes secundarias y parte del colector horizontal; sin embargo, nunca ocurrió el anterior fenómeno hidráulico y es en este escenario donde por primera vez se muestran presiones positivas en el manovacuómetro P-02 mostrando con ello en conjunto que el sistema en el tramo final se encontraba trabajando como un sistema convencional.

CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. CAUDALES

Para poder confirmar la veracidad de los valores obtenidos como caudales individuales, se contrasta el valor promedio de estos con los valores obtenidos de las pruebas de caudales totales (Valor promedio).

Esto se debe a que los datos obtenidos por las pruebas individuales no se obtuvieron durante el funcionamiento del sistema sifónico, sino que, fueron obtenidas gracias a la graduación de las válvulas de control posterior a que el sistema dejara de funcionar en conjunto.

Descripción	Altura de la Bajante Principal (m)	Caudales individuales (L/s)	Caudal total (L/s)	Porcentaje error (%)
Escenario N.º 1	2.66	13.892	13.461	3.20%
Escenario N.º 2	2.56	13.495	13.250	1.85%
Escenario N.º 3	2.46	13.238	13.083	1.18%
Escenario N.º 4	2.36	13.035	12.894	1.09%
Escenario N.º 5	2.26	12.739	12.472	2.14%
Escenario N.º 6	2.16	12.517	12.563	0.37%
Escenario N.º 7	2.06	12.420	12.338	0.67%
Escenario N.º 8	1.95	12.338	12.378	0.32%
Escenario N.º 9	1.85	12.021	12.078	0.47%
Escenario N.º 10	1.75	11.913	11.920	0.06%
Escenario N.º 11	1.65	11.637	11.657	0.17%
Escenario N.º 12	1.55	11.421	11.678	2.20%
Escenario N.º 13	1.45	11.146	10.861	2.62%
Escenario N.º 14	1.35	10.958	10.708	2.33%
Escenario N.º 15	1.25	10.777	10.583	1.83%
Escenario N.º 16	1.15	10.616	10.361	2.46%
Escenario N.º 17	1.05	10.420	10.233	1.82%
Escenario N.º 18	0.95	10.013	9.844	1.72%
Escenario N.º 19	0.85	9.693	9.692	0.01%
Escenario N.º 20	0.75	9.468	9.478	0.10%
Escenario N.º 21	0.65	9.172	9.172	0.01%

Descripción	Altura de la Bajante Principal (m)	Caudales individuales (L/s)	Caudal total (L/s)	Porcentaje error (%)
Escenario N.º 22	0.55	8.901	8.808	1.05%
Escenario N.º 23	0.45	8.265	8.339	0.88%
Escenario N.º 24	0.35	6.885	6.906	0.30%

Tabla 7.1.1 Caudales Validación de los caudales individuales

Se tiene un promedio de 1.17% como porcentaje de error entre ambos valores, por lo cual se puede aseverar que los datos obtenidos individualmente pueden ser usados para fines del presente estudio.

7.1.1. CAUDAL – SUMIDERO 01

Con el fin de analizar los valores experimentales, se contrastaron respecto al cálculo hidráulico tal como se muestra en el Gráfico 7.1.

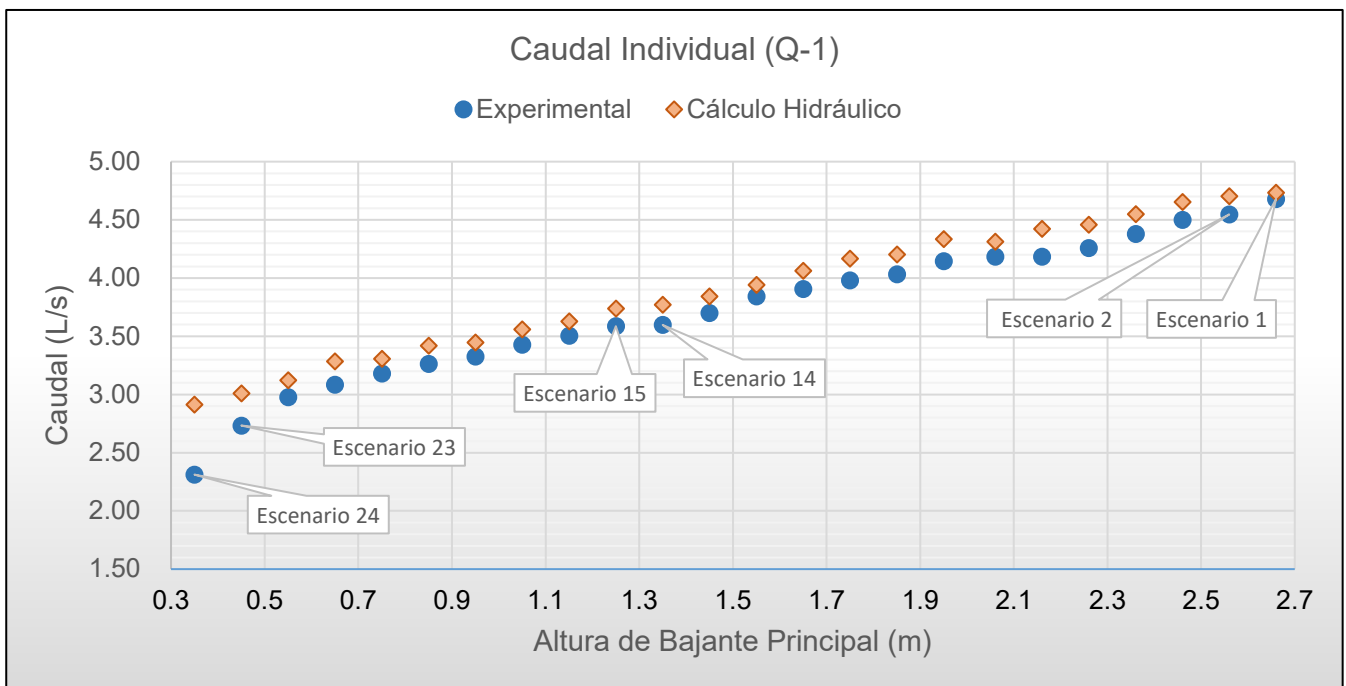


Gráfico 7.1 Contraste de los valores experimentales para el caudal Q - 01

Durante la mayoría de los escenarios planteados el valor experimental del caudal Q – 01 permanece por debajo de los valores obtenidos del cálculo hidráulico; sin embargo, en el último escenario

(escenario 24) se aprecia una diferencia muy grande entre ambos valores que escapa a lo observado en anteriores escenarios.

7.1.2. CAUDAL – SUMIDERO 02

Con el fin de analizar los valores experimentales, se contrastaron respecto al cálculo hidráulico tal como se muestra en el Gráfico 7.2

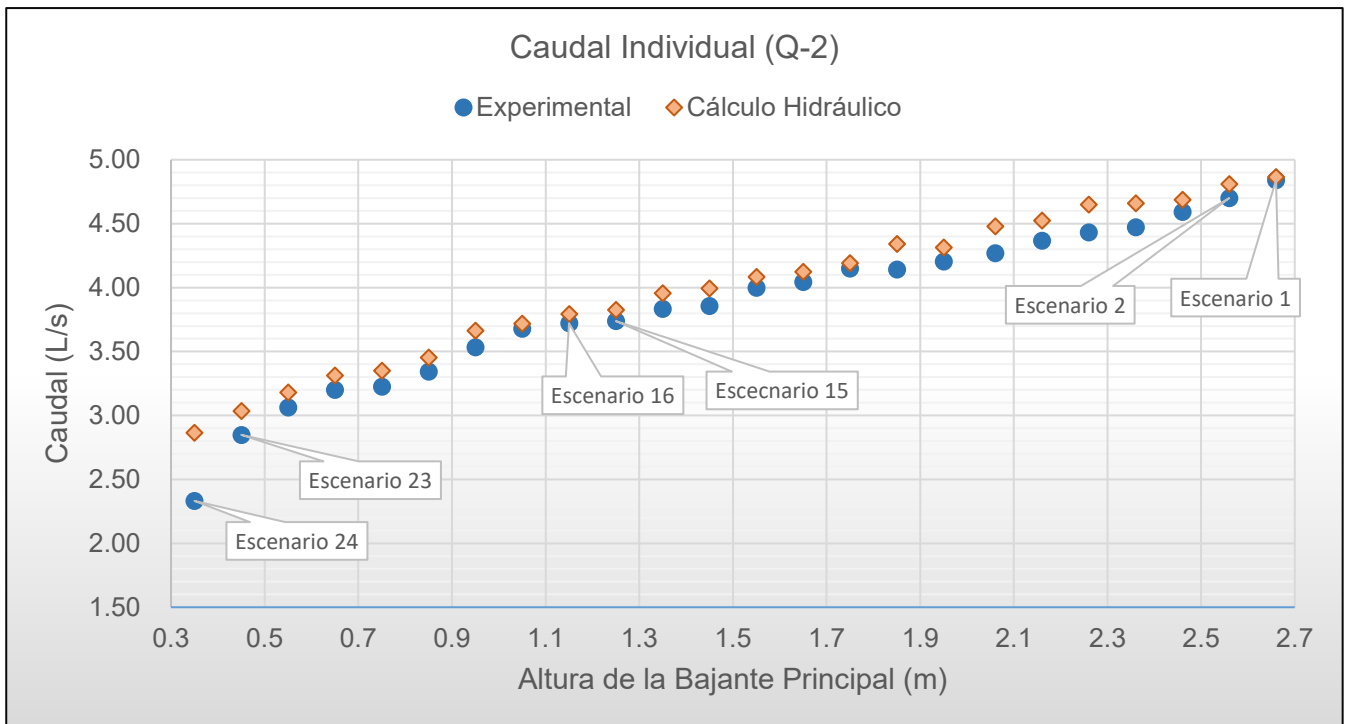


Gráfico 7.2 Contraste de los valores experimentales para el caudal Q - 02

Se puede apreciar que las diferencias entre los valores comparados, son variables, teniendo diferencias superiores al promedio en los escenarios del 4 al 7 que en este caudal Q2 es más notable que en el caudal Q-01. Sin embargo, de igual forma se puede apreciar una diferencia muy grande en el escenario 24.

7.1.3. CAUDAL – SUMIDERO 03

Con el fin de analizar los valores experimentales, se contrastaron respecto al cálculo hidráulico tal como se muestra en el Gráfico 7.3.

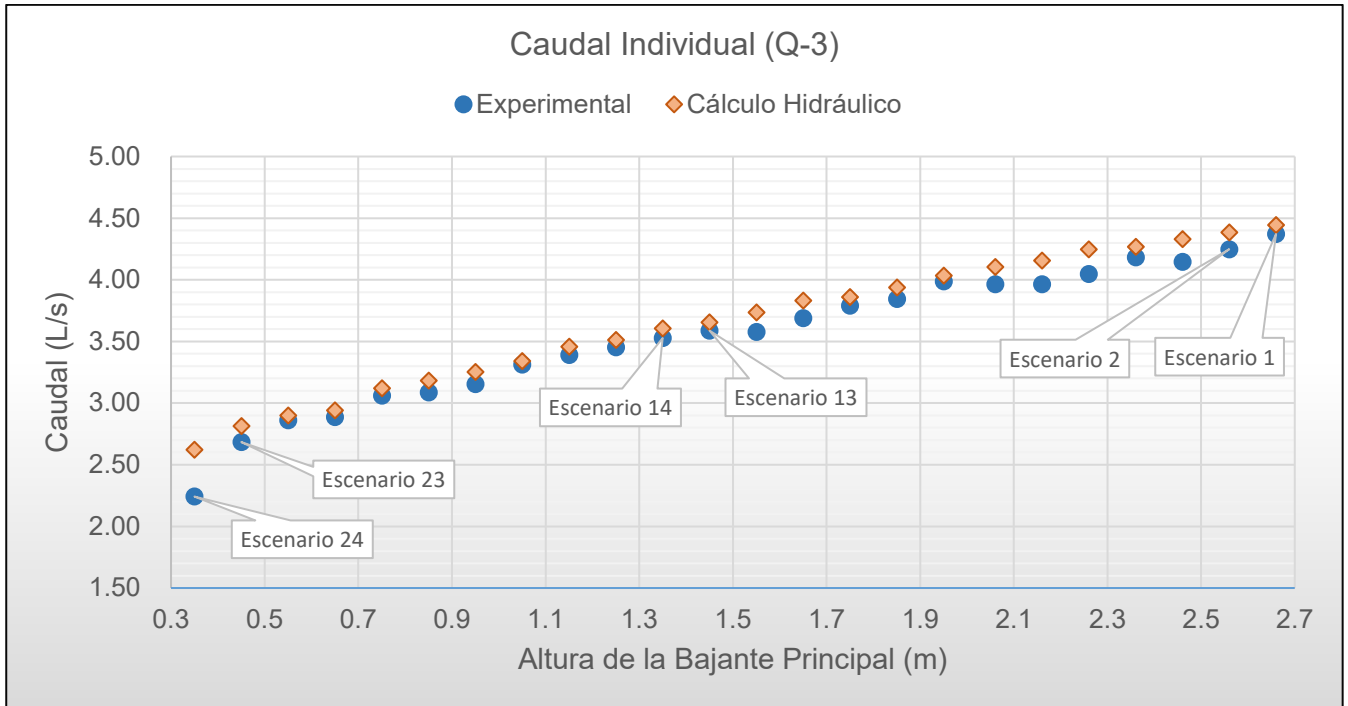


Gráfico 7.3 Contraste de los valores experimentales para el caudal Q - 03

Al igual que en los caudales anteriores, los valores experimentales se mantienen por debajo de los valores del cálculo hidráulico. Es importante resaltar que, en este caso, las diferencias son más estrechas respecto a los anteriores sumideros.

En el último escenario se aprecia de igual manera una diferencia marcada entre los valores experimentales y del cálculo hidráulico.

7.1.4. CAUDALES INDIVIDUALES

Se muestran la evolución de los caudales individuales según las pruebas hidráulicas a lo largo de los escenarios en el Gráfico 7.4.

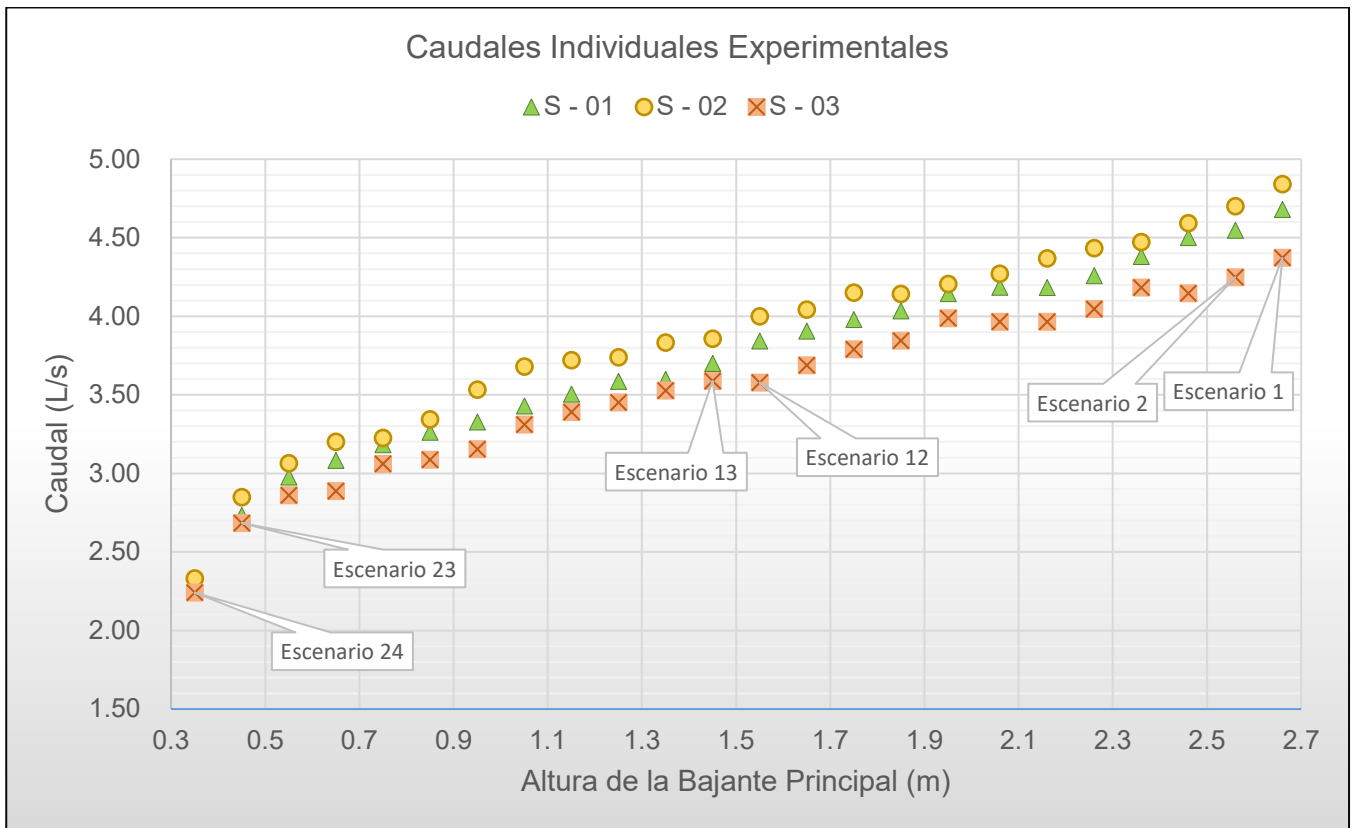


Gráfico 7.4 Valores Experimentales de los Caudales Individuales

En el Gráfico 7.4. se puede apreciar que los valores experimentales mantienen un orden, teniendo como resultado que los valores del caudal Q2 siempre es el más alto, seguido por el caudal Q1 y finalmente el caudal Q3. Además, se puede apreciar que conforme la bajante principal reducía su longitud el caudal Q2 pasa de estar cerca del valor del caudal Q1 a alejarse progresivamente.

De acuerdo con estos datos, se puede interpretar que el sistema efectivamente se encuentra trabajando como un sistema sifónico al presentar un comportamiento bastante acercado al estimado por el cálculo hidráulico; sin embargo, este comportamiento se rompe drásticamente en el último escenario.

Para evaluar con más detalle se ilustró una gráfica con los errores porcentuales de los valores obtenidos del cálculo hidráulico respecto a los valores obtenidos en las pruebas hidráulicas. (Ver Gráfico 7.5.)

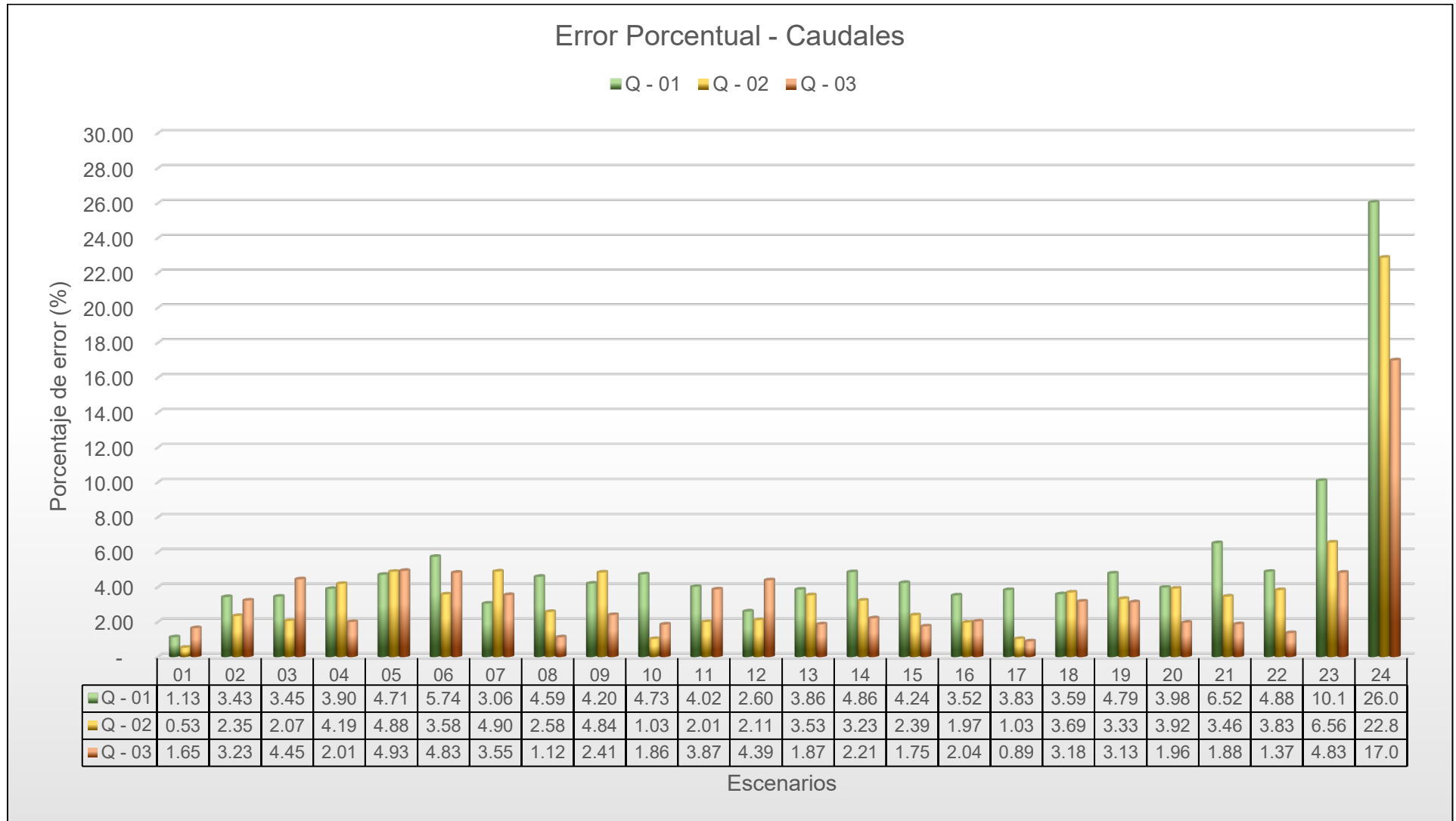


Gráfico 7.5 Error de los caudales del cálculo hidráulico respecto a los datos experimentales (Q1, Q2 y Q3)

Del Gráfico 7.5 se puede observar que el error se mantuvo con un promedio de 4.07%, 2.97% y 2.66% para los caudales Q1, Q2 y Q3 respectivamente hasta el escenario 22.

En el escenario 23 se obtienen los errores porcentuales son 10.1%, 6.56% y 4.83% para los caudales Q1, Q2 y Q3 respectivamente, el alto porcentaje de error concuerda con el fenómeno indicado en el ítem 6.25.2.3. La causa de este fenómeno radica en que inicialmente la bajante principal no logra llegar a tener un flujo a tubo lleno en su totalidad, es decir, parte del área de la bajante principal contiene aire que finalmente logra purgar en su mayoría. Sin embargo, a pesar de lograr purgar el aire, el porcentaje de error por encima de la media indica que el sistema no pudo purgar todo el aire trabajando como un sistema sifónico incompleto.

Del último escenario, acorde a lo mencionado en el ítem 6.25.2.4 se puede inferir que no se pudo lograr el efecto sifónico en el tramo final del colector horizontal, ni en la bajante principal, como consecuencia estos tramos se encontraban trabajando como canal y a flujo anular respectivamente. Siendo esta interpretación apoyada con los porcentajes de error de 26.04%, 22.88% y 17% para los caudales Q1, Q2 y Q3 respectivamente que se encuentran en valores muy por encima de los valores obtenidos en los escenarios predecesores.

Según referencias bibliográficas como la normativa británica, el tiempo que un sistema demora en cebarse es calculado dividiendo el volumen de agua dentro del sistema sifónico entre el caudal que puede generar cada sumidero con su respectiva bajante secundaria trabajando a tubo lleno. Bajo este concepto se puede decir que las bajantes principales no tienen influencia en la velocidad de cebado del sistema sifónico y por tanto el fenómeno descrito anteriormente debería haberse repetido a lo largo de las pruebas hidráulicas debido a que solo se varió la altura de la bajante principal; sin embargo, esto no ocurrió en los escenarios antecesores.

Se puede deducir que la bajante principal tiene una influencia directa en el proceso de cebado de un sistema sifónico ya que al estar parcialmente llena puede generar un arrastre lo suficientemente considerable para poder afectar dicho proceso. Dicho arrastre aumenta el caudal entrante al sistema y por ende favorece la propagación de los saltos hidráulicos que llenan la tubería en los tramos finales del colector horizontal y por consiguiente en la bajante principal.

7.2. PRESIONES

7.2.1. PRESIÓN MANOVACUÓMETRO (P – 01)

En el Gráfico 7.6 se puede apreciar el rango de presiones correspondiente a la pérdida de carga generada por la tee donde se instaló el manovacuómetro P-01 acorde el cálculo hidráulico desarrollado.

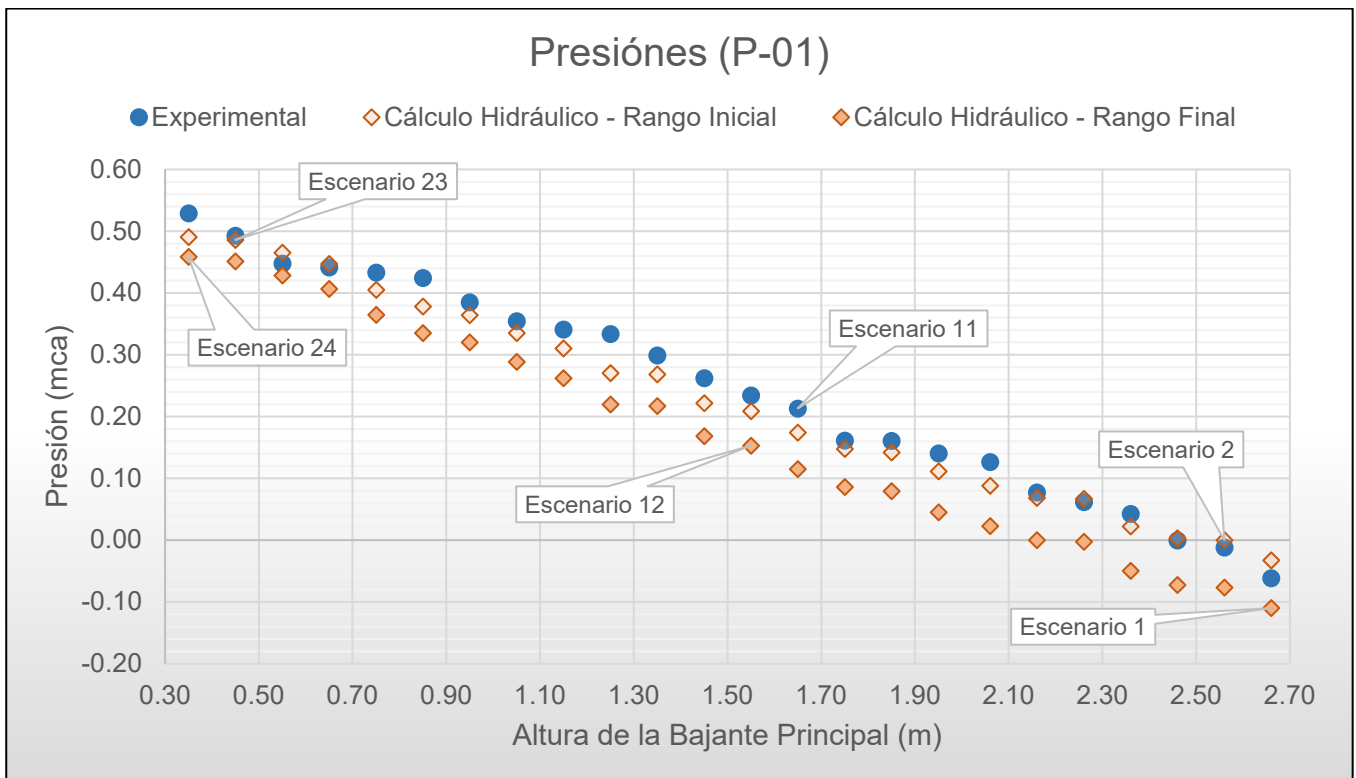


Gráfico 7.6 Contraste de las presiones en el manovacuómetro (P-01)

Según el Gráfico 7.6 se puede notar que la tendencia general de las presiones es incrementarse progresivamente conforme la altura de la bajante principal reducía su longitud, esto indica que el sistema trabajaba a tubo lleno como un sistema sifónico durante las pruebas realizadas. Además, es importante notar que el manovacuómetro registró valores negativos durante los 3 primeros escenarios y posteriormente este valor se tornó positivo hasta el fin de las pruebas.

7.2.2. PRESIÓN MANOVACUÓMETRO (P – 02)

En comparación con los datos obtenidos en el manovacuómetro (P-01), los datos del manovacuómetro (P-02) son más estables que los de su contraparte. En este escenario se pudo notar que los valores experimentales se apegan más a las presiones iniciales del cálculo hidráulico; sin embargo, en los tramos finales se puede apreciar una marcada separación respecto a los valores del cálculo hidráulico. (Ver Gráfico 7.7)

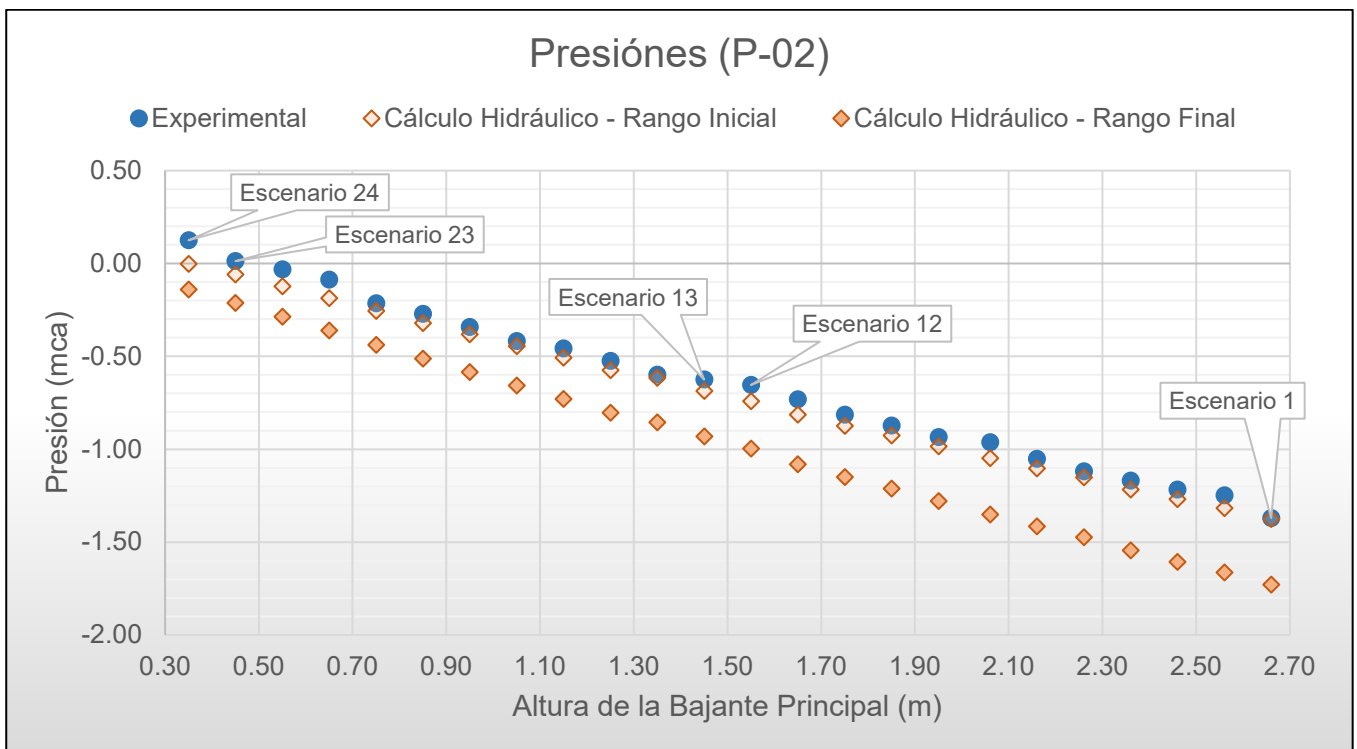


Gráfico 7.7 Contraste de las presiones en el manovacuómetro (P-02)

Es importante mencionar que las presiones obtenidas en el manovacuómetro (P-02) son negativas durante los primeros 23 escenarios, solo en el último escenario se pudo observar una presión positiva.

La presión positiva en el último escenario guarda correlación con el fenómeno hidráulico que ocurrió en el escenario 23, el cual no se dio durante la prueba realizada para el escenario 24.

Según lo explicado en el ítem 6.25.2.4, se puede deducir que el sistema se encontraba trabajando a tubo lleno hasta poco antes de llegar al punto de bajada del colector horizontal. Para llegar a esta afirmación se tuvo en cuenta los siguientes hechos.

- El incremento de la presión obtenida en el manovacuómetro (P-02) del escenario 23 al 24 es demasiado alta comparado a datos anteriores.
- Solo en la bajante principal se podía percibir vibraciones características del movimiento que hace todo el sistema cuando se encuentra en la fase inicial del proceso de cebado.
- Siendo una presión positiva, significaría que aguas abajo el sistema estaría trabajando como un sistema convencional.

7.3. VELOCIDAD MÍNIMA PARA UN RÁPIDO CEBADO DEL SISTEMA:

En la presente investigación el tiempo de cebado no fue una variable de investigación y no se tomaron valores específicos referentes a este parámetro en ninguno de los escenarios.

Sin embargo, en los escenarios del 1 al 20 se pudo apreciar que los contenedores inicialmente se llenan rápidamente y después de un corto tiempo sus niveles comienzan a bajar demostrando con ello que se está generando el arrastre hidráulico por parte de la bajante principal. Como muestra de ello se pudo tomar el tiempo en que ocurre este fenómeno del escenario 12 obteniéndose un tiempo de 50 segundos aproximadamente

desde que se inicia el llenado a los contenedores hasta que los niveles de los mismos empiezan a descender a un nivel relativamente estable.

En el escenario 21 se pudo notar un tiempo más prolongado de lo usual para la ocurrencia del fenómeno mencionado y este se incrementó gradualmente en los siguientes escenarios hasta llegar al escenario 23 donde se midió el tiempo mencionado obteniéndose valores entre 2:30 a 3 minutos.

Como parte de la explicación para el incremento del tiempo de ocurrencia del fenómeno explicado líneas arriba y el aumento del porcentaje de error considerable desde el escenario 21 se encontró una coincidencia en las gráficas de presión del cálculo hidráulico donde hasta el escenario 20 las presiones mínimas en todo el sistema se encontraban a la salida del codo 2 de 45° que conecta a la bajante principal y a partir del escenario 21 en adelante la presión mínima pasa a ser encontrada a la salida del codo 1 que conecta a colector horizontal según la Figura 7.1 y la Tabla 7.3.1.

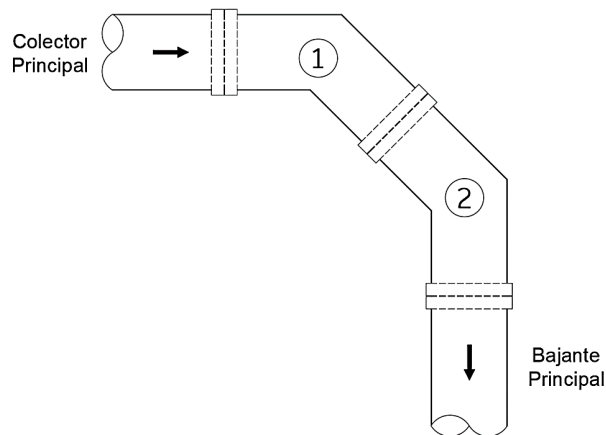


Figura 7.1 Conexión hacia bajante principal

A continuación, se muestran los valores obtenidos a partir del escenario 20 en adelante asumiendo que la pérdida de carga en cada codo es puntual.

	PRESIONES			
	Codo 01		Codo 02	
	Ingresas	Sale	Ingresas	Sale
Escenario 20	-0.4808	-0.5785	-0.4847	-0.5824
Escenario 21	-0.4014	-0.4947	-0.4002	-0.4935
Escenario 22	-0.3251	-0.4125	-0.3170	-0.4045
Escenario 23	-0.2476	-0.3292	-0.2328	-0.3144
Escenario 24	-0.1729	-0.2471	-0.1494	-0.2236

Tabla 7.3.1 Presiones en los Codos de la Bajante Principal

Este cambio de patrón de las presiones en los codos se debe principalmente a la velocidad del fluido ya que este influye directamente en la pérdida de carga del codo.

Teniendo la Tabla 7.3.1 en cuenta se debe priorizar una velocidad mínima que permita que el codo 01 tenga la presión mínima en todo el sistema y así garantizar un rápido cebado del sistema. En el caso particular del presente estudio se tiene una velocidad de 2.71 m/s en el escenario 20, por tanto, se recomienda una velocidad mínima de 2.75 m/s para tuberías de Ø2 1/2" para garantizar que el tiempo de cebado no sea muy extenso y que no se queden atrapadas bolsas de aire en el codo 01 disminuyendo la efectividad del sistema. Es necesario mencionar que el valor recomendado puede variar dependiendo del accesorio instalado y la separación entre codos, por ello se recomienda realizar el cálculo para el caso específico que se quiera evaluar.

7.4. VELOCIDAD MÍNIMA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA SIFÓNICO

Se presentan las velocidades experimentales de los escenarios 22, 23 y 24 y los valores obtenidos del cálculo hidráulico en los tramos del sistema donde se presentaron las velocidades mínimas para su análisis. (Ver Tabla 7.4.1)

VELOCIDADES MÍNIMAS (m/s)					
Escenario	Descripción	Bajante secundaria	Ramal Horizontal	Colector Horizontal	Bajante principal
Escenario 22	Experimental	1.240	1.240	1.673	2.465
	Cálculo Hidráulico	1.257	1.257	1.746	2.549
Escenario 23	Experimental	1.163	1.163	1.546	2.289
	Cálculo Hidráulico	1.219	1.219	1.674	2.453
Escenario 24	Experimental	0.972	0.972	1.286	1.907
	Cálculo Hidráulico	1.137	1.137	1.601	2.327

Tabla 7.4.1 Velocidades Mínimas en el sistema sifónico

Las velocidades mostradas en la Tabla 7.4.1 corresponden a los siguientes tramos:

Descripción	Tramo	Diámetro	Caudal
Bajante Secundaria	S3-L5	Ø2"	Q3
Ramal Horizontal	L6-L7.2	Ø2"	Q3
Colector Horizontal	L4-L7.1	Ø2 1/2"	Q1 y Q2
Bajante Principal	P2-L8	Ø2 1/2"	Q1, Q2 y Q3

Tabla 7.4.2 Tramos del sistema con Velocidades Mínimas

De acuerdo a la fórmula de Lauchen para tuberías de Ø2" las velocidades mínimas deberían encontrarse en el rango de 0.35 y 0.47 m/s para poder purgar el aire y para tuberías de Ø2 1/2", el rango es de 0.39 y 0.52 m/s para poder transportar las burbujas de aire a lo largo de la tubería horizontal. Con estas consideraciones tanto los valores empíricos como los del cálculo hidráulico cumplirían dicha condición.

Basándonos en la norma británica donde nos referencia que las velocidades mínimas deben ser de 1 m/s para bajantes secundarias y de 2.2 m/s para la bajante principal, podemos enfatizar los siguientes hechos:

- Todas las bajantes secundarias se lograron cebar en su totalidad en todos los escenarios a pesar de encontrarse velocidades menores a 1m/s en el último escenario.
- No se podría corroborar del todo la afirmación de la norma británica referente a que velocidades mayores a 2.2 m/s en la bajante principal

garantizarían un buen cebado en el sistema, ya que se encontró que la velocidad experimental de la bajante principal en el penúltimo escenario fue de 2.289 m/s y con ello se obtuvieron porcentajes de error bastante elevados deduciendo con ello que el sistema no estaba completamente cebado.

Debido a ello se recomienda optar por valor más conservadores como los mencionados en el ítem 7.3 para obtener una velocidad mínima como parámetro para diseño de sistemas sifónicos.

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

- El sistema experimental trabajó bajo el concepto de un sistema sifónico desde que la bajante principal medía 2.66 m (Escenario 1) hasta que se redujo a una altura de 0.55m(Escenario 22), esto se comprobó en campo con las observaciones mencionadas en el ítem 6.25.1.1 y en estos primeros 22 escenarios se obtuvo un porcentaje de error de promedio respecto al cálculo hidráulico de 4.32%, 3.10% y 2.87% para los caudales Q1, Q2 y Q3 respectivamente.
- En el escenario 23 ($H = 0.45\text{m}$), al igual que en los primeros escenarios el sistema trabajo como sistema sifónico; sin embargo, el tiempo que demoró el sistema en llegar al equilibrio fue muy extenso llegando a alcanzar los 3 minutos mostrando dificultad para poder cebarse. Además, los porcentajes de error en comparación a los valores teóricos resultaron en 10.10%, 6.56% y 4.86% para los caudales Q1, Q2 y Q3 respectivamente, de lo anterior se deduce que el sistema trabajó como un sistema sifónico incompleto donde probablemente hubo presencia de bolsas de aire que no pudieron ser purgadas del sistema afectando así la capacidad hidráulica del mismo.
- En el escenario 24, el sistema no logró cebarse por completo teniendo un comportamiento híbrido donde las bajantes secundarias se encontraban completamente cebadas pero el colector horizontal trabajaba como canal en su tramo final (Sistema de drenaje convencional). Además, se obtuvieron porcentajes de error respecto al cálculo hidráulico de 28.02%, 25.34% y 21.73% para los caudales Q1, Q2 y Q3 respectivamente, los cuales sobrepasan el comportamiento de los anteriores escenarios.
- Durante el experimento la relación entre los caudales experimentales Q1, Q2 y Q3 no muestra signos de verse afectado por la reducción de la longitud de la bajante comprobando así, que el sistema trabaja a tubo lleno bajo un concepto de sistema sifónico.
- Respecto a los caudales se observó que éstos se reducían conforme la longitud de la bajante principal también lo hacía. En los primeros 23 escenarios se obtuvieron capacidades de transporte de agua desde los 13.89 L/s en el escenario 1 reduciéndose progresivamente hasta los 8.27 L/s en el

escenario 23 teniendo una altura de la bajante principal de 2.66 metros y de 0.45 metros respectivamente. En el escenario 24 (sistema no sifónico) el caudal resultante fue de 6.89 L/s para una altura de la bajante principal de 0.35 metros.

- Las presiones en general tuvieron un comportamiento de incremento conforme se reducía la longitud de la bajante principal. Siendo las presiones tomadas en el manovacuómetro 01 negativas solo durante los tres primeros escenarios. Las presiones tomadas en el manovacuómetro 02 resultaron negativas durante los primeros 23 escenarios realizados, siendo el escenario 24 donde se obtuvo una presión positiva.
- La velocidad mínima de la bajante principal para que el sistema sifónico se logre desarrollar resultó en el valor de 2.289m/s correspondiente al escenario 23 ($H=0.45$ m). Este valor resulta ligeramente mayor al valor recomendado por la norma británica 2.2 m/s (BS:2007); sin embargo, teniendo en cuenta que la diferencia de estos valores no es muy alta y que en este escenario solo se desarrolló un sistema sifónico incompleto con un alto porcentaje de error en comparación a sus contrapartes, es recomendable usar velocidades más conservadoras.
- La longitud de la bajante principal tiene un efecto directo en el tiempo que demora el sistema en cebarse por completo, debido a que el arrastre hidráulico que ocurre cuando el sistema se encuentra completamente cebado también ocurre en menor proporción mientras el sistema aún se está cebando. A pesar de que la fórmula definida por la norma británica para el cálculo del tiempo cebado de un sistema sifónico no presenta la inclusión de algún parámetro relacionado con la bajante principal como la velocidad, en la presente investigación se encontró que este efecto es lo suficientemente fuerte para afectar el tiempo de cebado de un sistema sifónico y debería considerarse para la estimación del mismo.

CAPÍTULO 9: RECOMENDACIONES

- Para futuros estudios se recomienda complementar con mayores equipos de medición, como lo vendrían a ser los caudalímetros y transductores de presión que brindarían data en tiempo real y de mejor calidad donde incluso se podría estudiar a fondo el proceso de cebado de un sistema sifónico.
- Se sugiere el uso de tuberías transparentes para poder tener una percepción visual de cómo se desenvuelve el sistema sifónico instalado y apreciar el comportamiento de las bolsas de aire remanentes en el sistema.
- A pesar de que experimentalmente se obtuvo una velocidad mínima de 2.289 m/s para que el sistema funcione como un sistema sifónico, para bajantes que conecten con dos codos de 45° se sugiere usar velocidades mínimas que garanticen que la presión mínima de todo el sistema se ubique a la salida del codo que conecta a la bajante principal con el objetivo que el tiempo de cebado no sea muy extenso como se notó en las pruebas hidráulicas. Siendo el caso específico de la presente tesis se obtuvo una velocidad de 2.71 m/s para una tubería de $\text{Ø}2 \frac{1}{2}$ " en el escenario 20 ($H=0.75\text{m}$); sin embargo, se recomienda una velocidad de 2.75 m/s.
- Resultaría interesante realizar un estudio enfocado al tiempo de cebado donde se busque evaluar como variaría el tiempo de cebado mientras se reduce la longitud de la bajante con 2 codos de 45° como primer escenario y un codo de 90° como segundo escenario. Con estos resultados se podría agregar la variable de la velocidad en la bajante principal en la ecuación descrita por la norma británica y obtener una ecuación más cercana a la realidad.

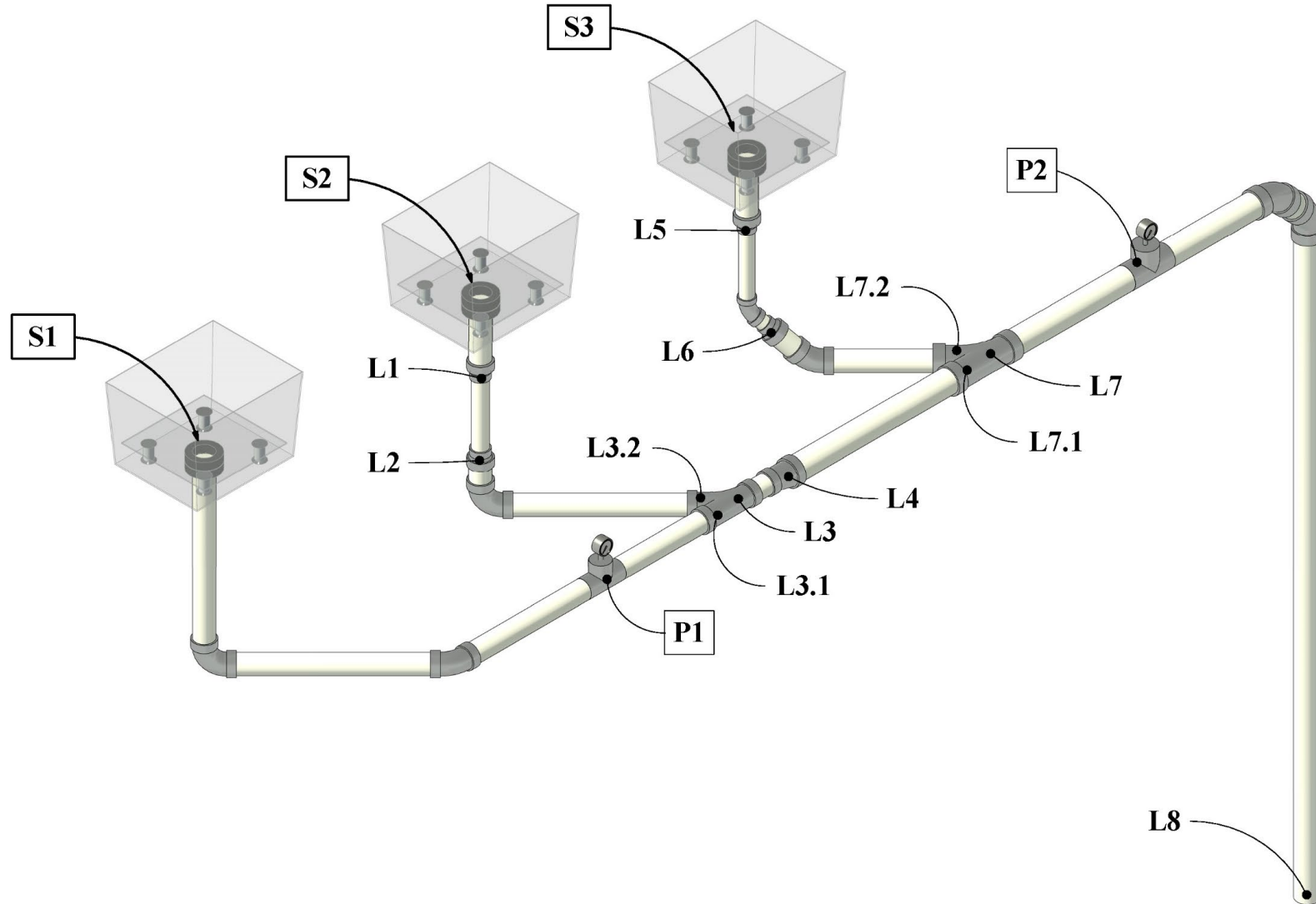
CAPÍTULO 10: REFERENCIAS

1. British Standards Institute. (2007). Guide to Siphonic Roof Drainage (BS 8490:2007).
2. Kieran, J. Williams. (2016). Experimental Study of Multiple Outlets in a Siphonic Roof Drainage System. [Tesis Doctoral, The University of Sheffield]
3. Australian Government, Department of the Environment Water (2010), Heritage and the Arts. Siphonic Roofwater System.
4. Wright, G.B., Swaffield, J.A., Arthur, S., et al. (2012). Investigation into the Performance Characteristics of Multi-Outlet Siphonic Roof Drainage Systems. [Tesis Doctoral, Heriot-Watt University]
5. Escarmeia, M., Dabrowski, C., Gahan, C., Lauchlan, C., et al. (2004) Experimental and Numerical Studies on Movement of Air in Water Pipelines.
6. May, R. (2004). Design Criteria for Siphonic Roof Drainage Systems. H.R. Wallingford. Report SR654.
7. Lucke, T. (2007). Rainwater Harvesting Option for Commercial Buildings Using Siphonic Roof Drainage Systems. International Transitions Conference. Australian Industry of Building Surveyors.
8. Öngören, A., Materna, R., et al. (2006). Multiphase Flow characteristics of a siphonic roof drainage system under part load conditions. International Council for Research and Innovation in Building and Construction. CIB W062.
9. Gardel, A. (1957), Les Pertes de Charge dans les Ecoulements au Travers de Branchments en Te, Bulletin Technique de la Suisse Romande. 9, pp. 122-130.
10. Bramhall, M. (2006). The Performance of Syphonic Rainwater Outlets within Gutters. [Tesis Doctoral, The University of Sheffield. PhD]
11. Arthur, S. and G. B. Wright (2007). Siphonic Roof Drainage Systems - Priming Focused Design. Building and Environment.
12. Crane (s.f.) Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. Cap 4. A-46.

ANEXOS

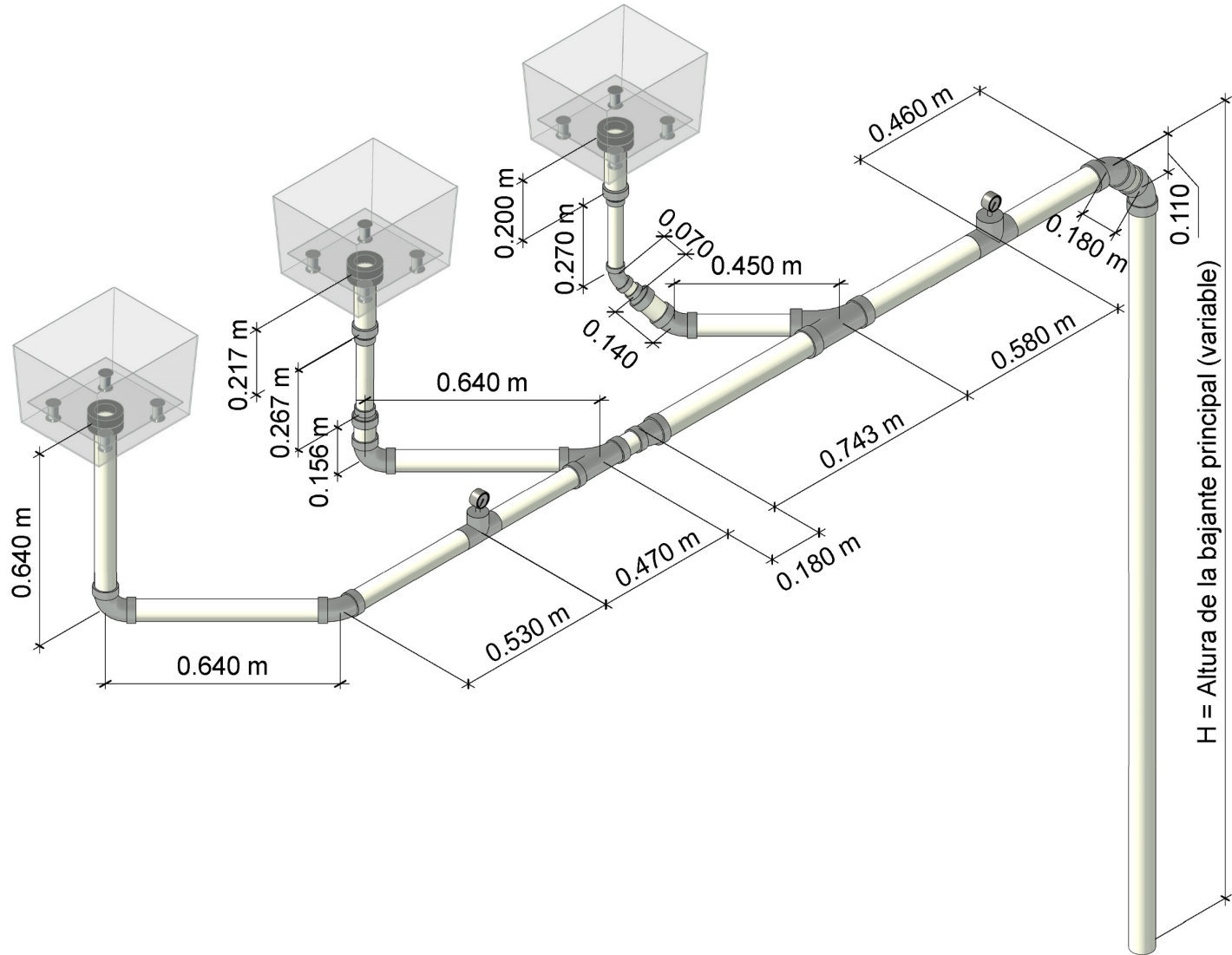
Anexo 1

Esquemas de Puntos Críticos para el Cálculo Hidráulico



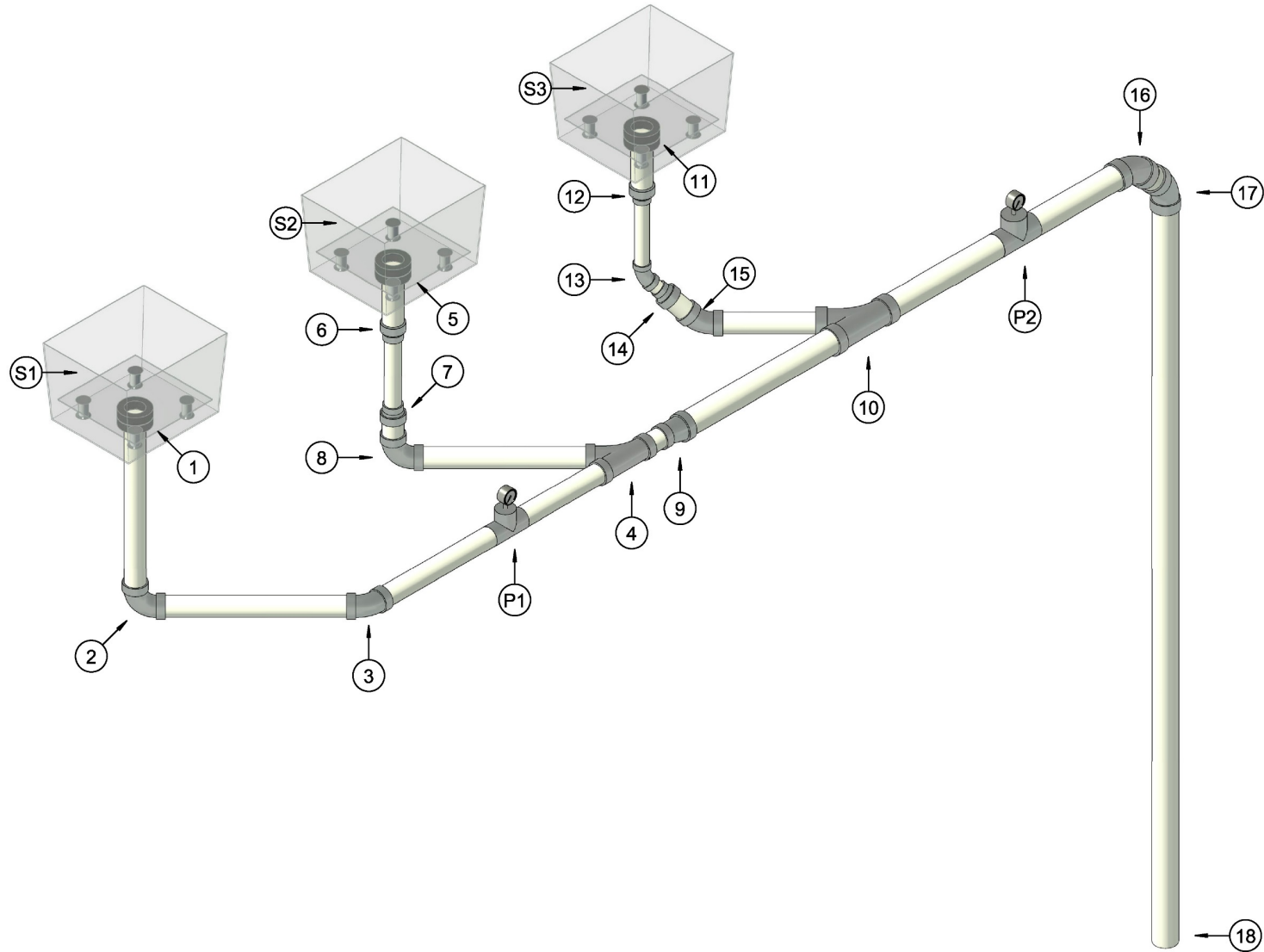
Anexo 2

Dimensiones Longitudinales del Sistema Sifónico Instalado en Campo



Anexo 3

Puntos Referenciales para Elaboración de Diagramas de Presión



Anexo 4

Escenario 01 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones

Tabla 01: Niveles de Contenedores

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	16.05	16.05	0.00	0.0000
2	17.00	16.05	-0.95	-0.0095
3	14.60	16.05	1.45	0.0145

Tabla 02: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 01)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S1-P1	Qi (l/s):	4.73	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	1.82	H Inicial	-	m
	Q (l/s):	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.461	hf:	0.13	m
	Qt (l/s):	4.73			V:	2.05	f:	0.018	hk:	0.53	m
	Qt (m3/s):	0.0047							H Final:	0.66	m
P1-L3,1	Qi (l/s):	4.73	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.47	H Inicial	0.66	m
	Q (l/s):	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.180	hf:	0.03	m
	Qt (l/s):	4.73			V:	2.05	f:	0.018	hk:	0.04	m
	Qt (m3/s):	0.0047							H Final:	0.73	m
L3,1-L3	Qi (l/s):	4.73	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.00	H Inicial	0.73	m
	Q (l/s):	4.87			A(m2):	0.00	k:	0.137	hf:	0.00	m
	Qt (l/s):	9.60			V:	4.16	f:	0.016	hk:	0.12	m
	Qt (m3/s):	0.0096							H Final:	0.85	m

Tabla 03: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S2-L1	Qi (l/s):	4.87	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.22	H Inicial	- 0.01	m
	Q (l/s):	0.00			A(m2):	0.00	k:	1.750	hf:	0.02	m
	Qt (l/s):	4.87			V:	2.11	f:	0.018	hk:	0.40	m
	Qt (m3/s):	0.0049							H Final:	0.40	m
L1-L2	Qi (l/s):	4.87	D	1.5	D(m):	0.0434	L(m):	0.27	H Inicial	0.40	m
	Q (l/s):	0.00			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.06	m
	Qt (l/s):	4.87			V:	3.29	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s):	0.0049							H Final:	0.46	m
L2-L3,2	Qi (l/s):	4.87	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.80	H Inicial	0.46	m
	Q (l/s):	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.956	hf:	0.06	m
	Qt (l/s):	4.87			V:	2.11	f:	0.018	hk:	0.22	m
	Qt (m3/s):	0.0049							H Final:	0.74	m
L3,2-L3	Qi (l/s):	4.87	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.00	H Inicial	0.74	m
	Q (l/s):	4.73			A(m2):	0.00	k:	0.127	hf:	0.00	m
	Qt (l/s):	9.60			V:	4.16	f:	0.016	hk:	0.11	m
	Qt (m3/s):	0.0096							H Final:	0.85	m

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L3-L4	Qi (l/s) :	4.87	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.85	m
	Q (l/s) :	4.73			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	9.60			V:	4.16	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0096							H Final:	0.90	m
L4-L7,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.90	m
	Q (l/s) :	9.60			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	9.60			V:	2.66	f:	0.016	hk:	0.18	m
	Qt (m3/s) :	0.0096							H Final:	1.14	m
L7,1-L7	Qi (l/s) :	9.60	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	1.14	m
	Q (l/s) :	4.44			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	14.04			V:	3.89	f:	0.015	hk:	0.17	m
	Qt (m3/s) :	0.0140							H Final:	1.31	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S3-L5	Qi (l/s) :	4.44	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	0.01	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	4.44			V:	1.93	f:	0.018	hk:	0.49	m
	Qt (m3/s) :	0.0044							H Final:	0.51	m
L5-L6	Qi (l/s) :	4.44	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.51	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.274	hf:	0.12	m
	Qt (l/s) :	4.44			V:	3.92	f:	0.017	hk:	0.21	m
	Qt (m3/s) :	0.0044							H Final:	0.85	m
L6-L7,2	Qi (l/s) :	4.44	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.85	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.365	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	4.44			V:	1.93	f:	0.018	hk:	0.45	m
	Qt (m3/s) :	0.0044							H Final:	1.33	m
L7,2-L7	Qi (l/s) :	4.44	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	1.33	m
	Q (l/s) :	9.60			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	14.04			V:	3.89	f:	0.015	hk:	- 0.03	m
	Qt (m3/s) :	0.0140							H Final:	1.31	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L7-P2	Qi (l/s) :	4.44	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	1.31	m
	Q (l/s) :	9.60			A(m2):	0.00	k:	0.229	hf:	0.10	m
	Qt (l/s) :	14.04			V:	3.89	f:	0.015	hk:	0.18	m
	Qt (m3/s) :	0.0140							H Final:	1.58	m
P2-L8	Qi (l/s) :	4.44	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	3.19	H Inicial	1.58	m
	Q (l/s) :	9.60			A(m2):	0.00	k:	0.717	hf:	0.55	m
	Qt (l/s) :	14.04			V:	3.89	f:	0.015	hk:	0.55	m
	Qt (m3/s) :	0.0140							H Final:	2.69	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Perdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	2.6600	3.4605	2.68947214	0.77102786
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1605			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

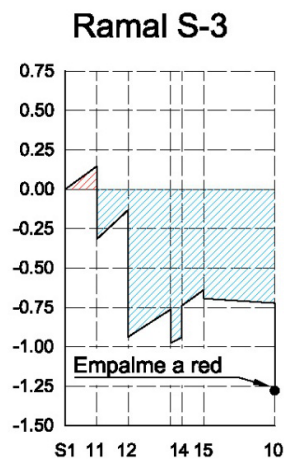
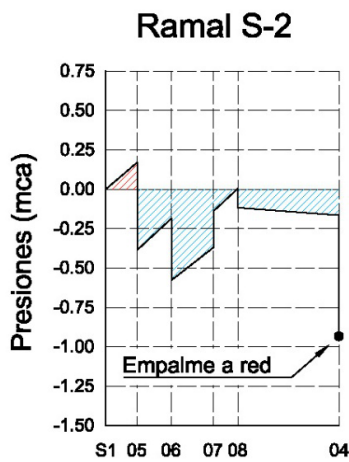
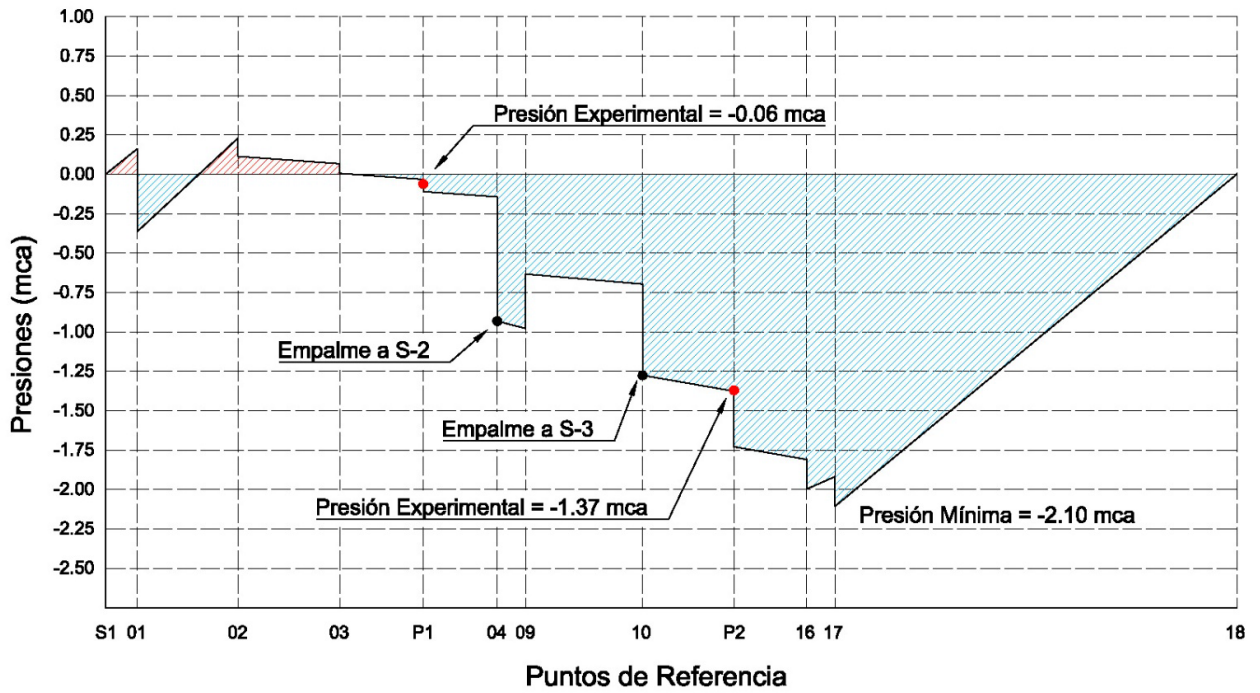
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.89	0.771027

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Puntos de Referencia

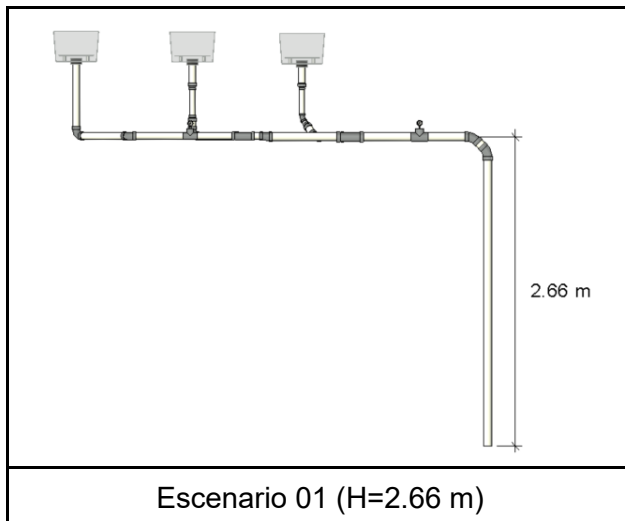


Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L3-L4	Qi (l/s) :	4.81	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.84	m
	Q (l/s) :	4.70			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	9.51			V:	4.12	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0095							H Final:	0.89	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.89	m
	Q (l/s) :	9.51			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	9.51			V:	2.63	f:	0.016	hk:	0.17	m
	Qt (m3/s) :	0.0095							H Final:	1.12	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	9.51	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	1.12	m
	Q (l/s) :	4.39			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	13.90			V:	3.85	f:	0.015	hk:	0.16	m
	Qt (m3/s) :	0.0139							H Final:	1.29	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S3-L5	Qi (l/s) :	4.39	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	0.03	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	4.39			V:	1.90	f:	0.018	hk:	0.47	m
	Qt (m3/s) :	0.0044							H Final:	0.51	m
L5-L6	Qi (l/s) :	4.39	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.51	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.275	hf:	0.12	m
	Qt (l/s) :	4.39			V:	3.87	f:	0.017	hk:	0.21	m
	Qt (m3/s) :	0.0044							H Final:	0.84	m
L6-L7	Qi (l/s) :	4.39	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.84	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.366	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	4.39			V:	1.90	f:	0.018	hk:	0.44	m
	Qt (m3/s) :	0.0044							H Final:	1.31	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	4.39	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	1.31	m
	Q (l/s) :	9.51			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	13.90			V:	3.85	f:	0.015	hk:	- 0.03	m
	Qt (m3/s) :	0.0139							H Final:	1.29	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L8-P2	Qi (l/s) :	4.39	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	1.29	m
	Q (l/s) :	9.51			A(m2):	0.00	k:	0.229	hf:	0.10	m
	Qt (l/s) :	13.90			V:	3.85	f:	0.015	hk:	0.17	m
	Qt (m3/s) :	0.0139							H Final:	1.56	m
P2-L9	Qi (l/s) :	4.39	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	3.09	H Inicial	1.56	m
	Q (l/s) :	9.51			A(m2):	0.00	k:	0.719	hf:	0.53	m
	Qt (l/s) :	13.90			V:	3.85	f:	0.015	hk:	0.54	m
	Qt (m3/s) :	0.0139							H Final:	2.63	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	2.5600	3.383	2.627654413	0.755345587
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1830			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

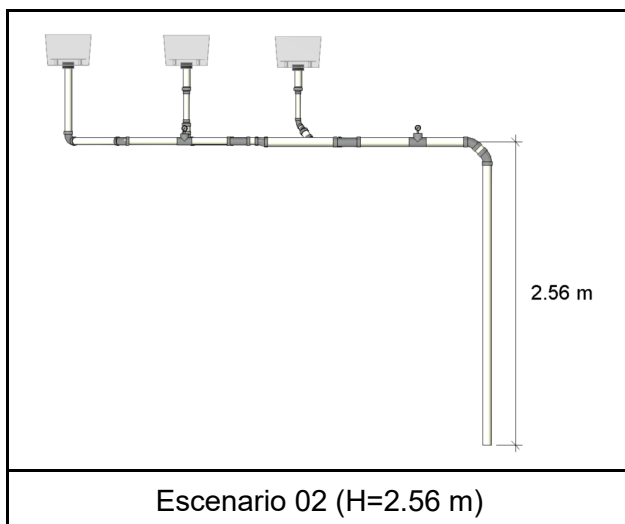
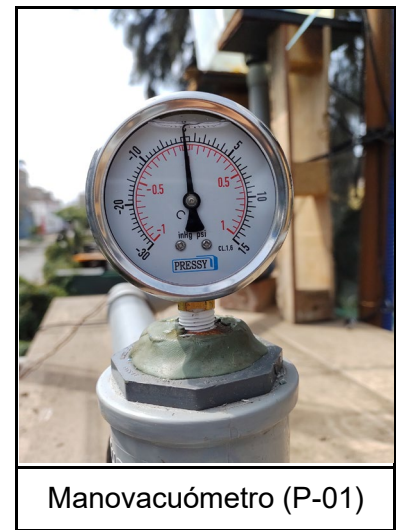
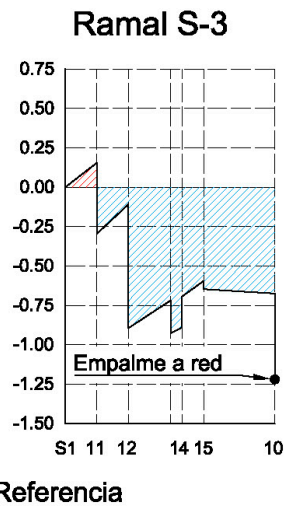
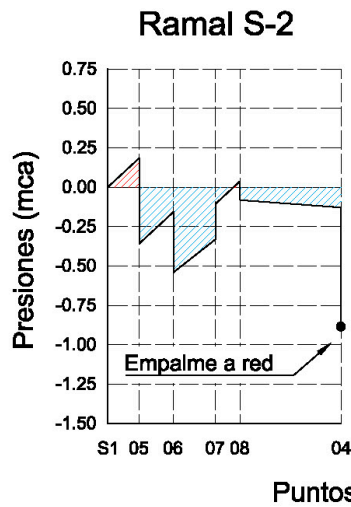
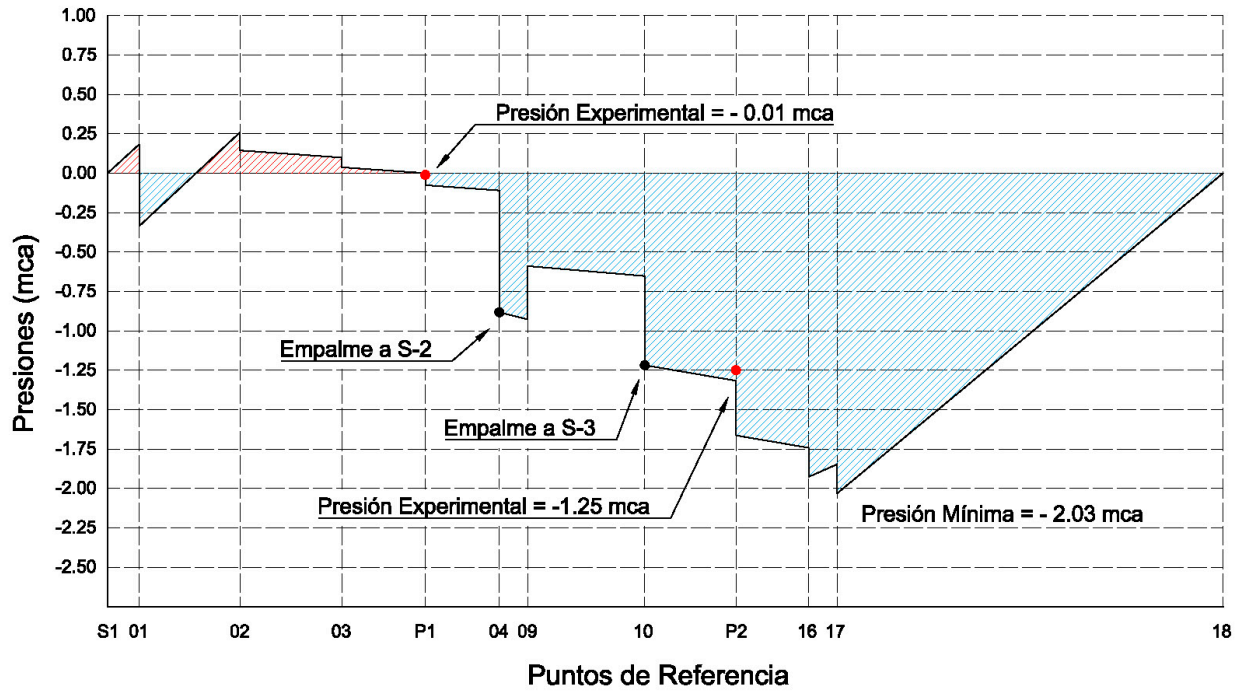
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.85	0.755345

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Anexo 6

Escenario 03 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones

Tabla 01: Niveles de Contenedores

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	17.00	17.00	0.00	0.0000
2	15.00	17.00	2.00	0.0200
3	14.50	17.00	2.50	0.0250

Tabla 02: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 01)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga				
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final	
S1-P1	4.66	0.0047	D	2	0.0542	1.82	0.00	2.02	-	0.13	0.51	0.64	
	0.00				0.0542	0.47	0.00	2.02	0.018	0.64	0.03	0.04	0.71
	4.66				0.0542	0.00	0.00	4.05	0.016	0.71	0.00	0.11	0.82
	0.0047									0.82	m		
P1-L3,1	4.66	0.0047	D	2	0.0542	0.47	0.00	2.02	0.64	0.03	0.04	0.71	
	0.00				0.0542	0.00	0.00	4.05	0.016	0.71	0.00	0.11	0.82
	4.66				0.0542	0.00	0.00	4.05	0.016	0.71	0.00	0.11	0.82
	0.0047									0.82	m		
L3,1-L3	4.66	0.0047	D	2	0.0542	0.00	0.00	4.05	0.71	0.00	0.11	0.82	
	4.69				0.0542	0.00	0.00	4.05	0.016	0.71	0.00	0.11	0.82
	9.34				0.0542	0.00	0.00	4.05	0.016	0.71	0.00	0.11	0.82
	0.0093									0.82	m		

Tabla 03: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S2-L1	4.69	0.0047	D	2	0.0542	0.22	0.00	2.03	0.02	0.02	0.37	0.40
	0.00				0.0542	0.00	1.750	0.018	0.40	0.02	0.05	0.46
	4.69				0.0542	0.00	0.00	3.17	0.017	0.40	0.05	0.46
	0.0047									0.46	m	
L1-L2	4.69	0.0047	D	1.5	0.0434	0.27	0.00	3.17	0.40	0.05	-	0.46
	0.00				0.0434	0.00	-	0.017	0.40	0.05	0.46	
	4.69				0.0434	0.00	0.00	3.17	0.017	0.40	0.05	0.46
	0.0047									0.46	m	
L2-L3,2	4.69	0.0047	D	2	0.0542	0.80	0.00	2.03	0.46	0.06	0.20	0.72
	0.00				0.0542	0.00	0.960	0.018	0.46	0.06	0.20	0.72
	4.69				0.0542	0.00	0.960	0.018	0.46	0.06	0.20	0.72
	0.0047									0.72	m	
L3,2-L3	4.69	0.0047	D	2	0.0542	0.00	0.00	4.05	0.72	0.00	0.11	0.82
	4.66				0.0542	0.00	0.127	0.016	0.72	0.00	0.11	0.82
	9.34				0.0542	0.00	0.127	0.016	0.72	0.00	0.11	0.82
	0.0093									0.82	m	

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L3-L4	Qi (l/s) :	4.69	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.82	m
	Q (l/s) :	4.66			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	9.34			V:	4.05	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0093							H Final:	0.87	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.87	m
	Q (l/s) :	9.34			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	9.34			V:	2.59	f:	0.016	hk:	0.17	m
	Qt (m3/s) :	0.0093							H Final:	1.09	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	9.34	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	1.09	m
	Q (l/s) :	4.33			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	13.67			V:	3.79	f:	0.015	hk:	0.16	m
	Qt (m3/s) :	0.0137							H Final:	1.25	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S3-L5	Qi (l/s) :	4.33	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	0.02	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	4.33			V:	1.88	f:	0.018	hk:	0.46	m
	Qt (m3/s) :	0.0043							H Final:	0.50	m
L5-L6	Qi (l/s) :	4.33	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.50	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.275	hf:	0.11	m
	Qt (l/s) :	4.33			V:	3.82	f:	0.017	hk:	0.20	m
	Qt (m3/s) :	0.0043							H Final:	0.82	m
L6-L7	Qi (l/s) :	4.33	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.82	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.367	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	4.33			V:	1.88	f:	0.018	hk:	0.43	m
	Qt (m3/s) :	0.0043							H Final:	1.28	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	4.33	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	1.28	m
	Q (l/s) :	9.34			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	13.67			V:	3.79	f:	0.015	hk:	- 0.03	m
	Qt (m3/s) :	0.0137							H Final:	1.25	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L8-P2	Qi (l/s) :	4.33	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	1.25	m
	Q (l/s) :	9.34			A(m2):	0.00	k:	0.230	hf:	0.10	m
	Qt (l/s) :	13.67			V:	3.79	f:	0.015	hk:	0.17	m
	Qt (m3/s) :	0.0137							H Final:	1.52	m
P2-L9	Qi (l/s) :	4.33	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	2.99	H Inicial	1.52	m
	Q (l/s) :	9.34			A(m2):	0.00	k:	0.721	hf:	0.49	m
	Qt (l/s) :	13.67			V:	3.79	f:	0.015	hk:	0.53	m
	Qt (m3/s) :	0.0137							H Final:	2.54	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	2.4600	3.27	2.538965687	0.731034313
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1700			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

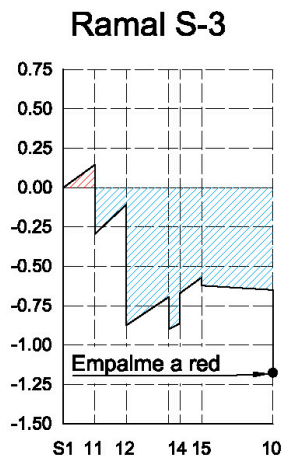
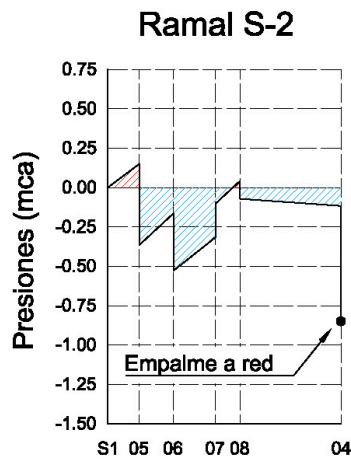
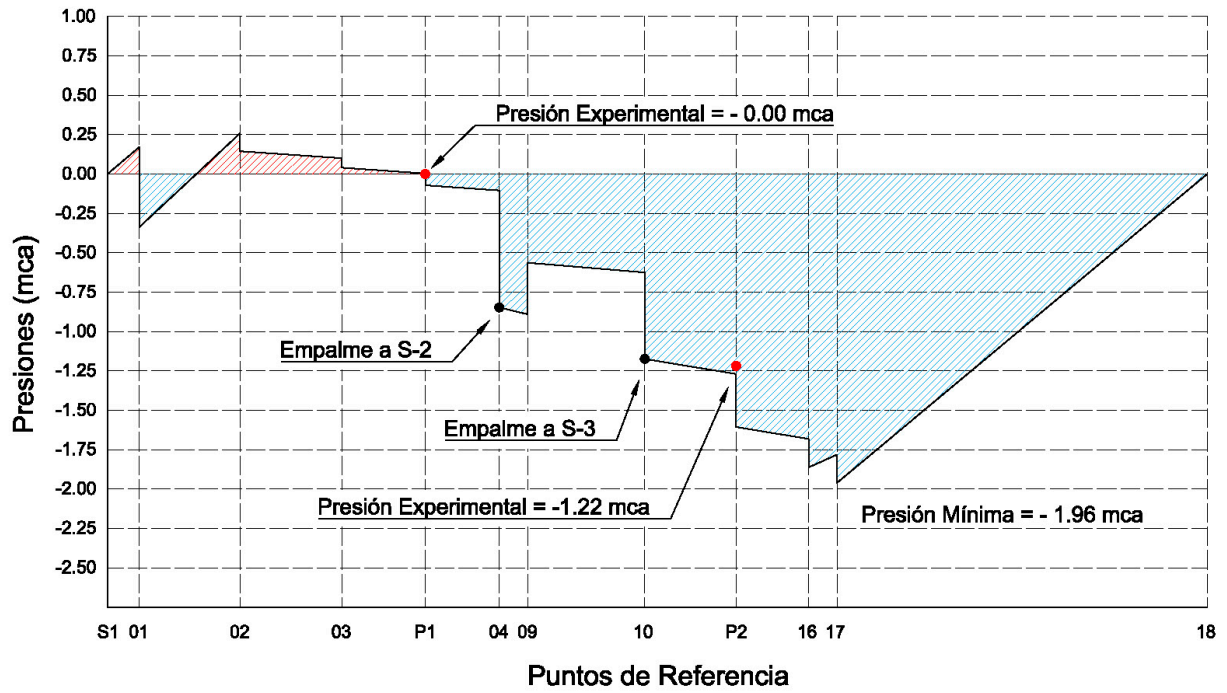
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.79	0.731034

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

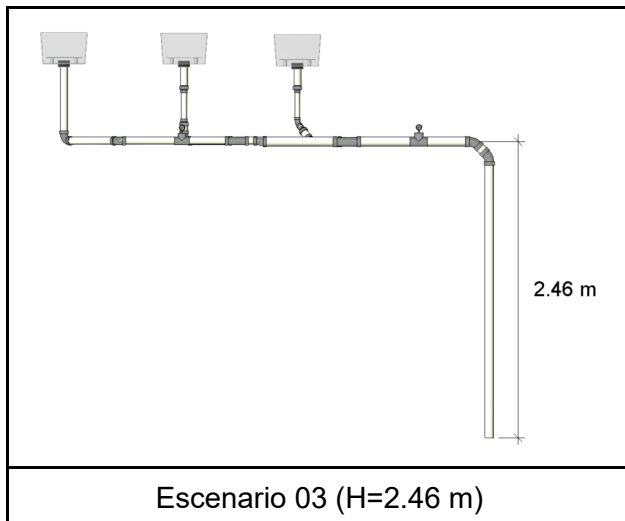
DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



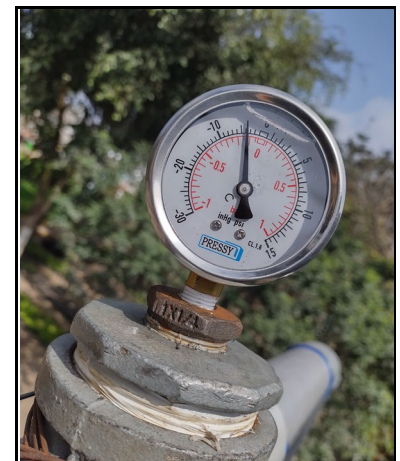
Puntos de Referencia



Manovacúmetro (P-01)



Escenario 03 (H=2.46 m)



Manovacúmetro (P-02)

Anexo 7

Escenario 04 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones

Tabla 01: Niveles de Contenedores

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	15.50	15.50	0.00	0.0000
2	15.70	15.50	-0.20	-0.0020
3	14.00	15.50	1.50	0.0150

Tabla 02: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 01)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S1-P1	4.55	0.0046	D	2	0.0542	1.82	0.00	1.97	0.00	0.12	0.49	0.61
	0.00				0.0542	0.47	0.00	0.018	0.61	0.03	0.04	0.68
	4.55				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.68	0.00	0.11	0.79
	0.0046				0.0542	0.00	0.00	0.016	0.79	0.79	0.79	0.79
P1-L3,1	4.55	0.0046	D	2	0.0542	0.47	0.00	1.97	0.61	0.03	0.04	0.68
	0.00				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.68	0.00	0.11	0.79
	4.55				0.0542	0.00	0.00	0.016	0.79	0.79	0.79	0.79
	0.0046				0.0542	0.00	0.00	0.016	0.79	0.79	0.79	0.79
L3,1-L3	4.55	0.0046	D	2	0.0542	0.00	0.00	1.97	0.61	0.03	0.04	0.68
	4.66				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.68	0.00	0.11	0.79
	9.21				0.0542	0.00	0.00	0.016	0.79	0.79	0.79	0.79
	0.0092				0.0542	0.00	0.00	0.016	0.79	0.79	0.79	0.79

Tabla 03: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S2-L1	4.66	0.0047	D	2	0.0542	0.22	0.00	2.02	0.00	0.02	0.36	0.38
	0.00				0.0542	0.27	0.00	0.017	0.38	0.05	-	0.43
	4.66				0.0542	0.80	0.00	0.018	0.43	0.06	0.20	0.69
	0.0047				0.0542	0.00	0.00	0.016	0.69	0.69	0.69	0.69
L1-L2	4.66	0.0047	D	1.5	0.0434	0.27	0.00	3.15	0.38	0.05	-	0.43
	0.00				0.0434	0.00	0.00	0.017	0.43	0.06	0.20	0.69
	4.66				0.0434	0.00	0.00	0.017	0.43	0.06	0.20	0.69
	0.0047				0.0434	0.00	0.00	0.017	0.43	0.06	0.20	0.69
L2-L3,2	4.66	0.0047	D	2	0.0542	0.80	0.00	2.02	0.43	0.06	0.20	0.69
	0.00				0.0542	0.00	0.00	0.018	0.69	0.06	0.20	0.69
	4.66				0.0542	0.00	0.00	0.018	0.69	0.06	0.20	0.69
	0.0047				0.0542	0.00	0.00	0.018	0.69	0.06	0.20	0.69
L3,2-L3	4.66	0.0047	D	2	0.0542	0.00	0.00	3.99	0.69	0.10	0.10	0.69
	4.55				0.0542	0.00	0.00	0.127	0.69	0.00	0.10	0.69
	9.21				0.0542	0.00	0.00	0.127	0.69	0.00	0.10	0.69
	0.0092				0.0542	0.00	0.00	0.127	0.69	0.00	0.10	0.69

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L3-L4	Qi (l/s) :	4.66	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.79	m
	Q (l/s) :	4.55			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	9.21			V:	3.99	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0092							H Final:	0.83	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.83	m
	Q (l/s) :	9.21			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	9.21			V:	2.55	f:	0.017	hk:	0.16	m
	Qt (m3/s) :	0.0092							H Final:	1.05	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	9.21	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	1.05	m
	Q (l/s) :	4.27			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	13.48			V:	3.73	f:	0.015	hk:	0.15	m
	Qt (m3/s) :	0.0135							H Final:	1.21	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S3-L5	Qi (l/s) :	4.27	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	0.01	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	4.27			V:	1.85	f:	0.018	hk:	0.45	m
	Qt (m3/s) :	0.0043							H Final:	0.48	m
L5-L6	Qi (l/s) :	4.27	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.48	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.276	hf:	0.11	m
	Qt (l/s) :	4.27			V:	3.76	f:	0.017	hk:	0.20	m
	Qt (m3/s) :	0.0043							H Final:	0.79	m
L6-L7	Qi (l/s) :	4.27	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.79	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.368	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	4.27			V:	1.85	f:	0.018	hk:	0.41	m
	Qt (m3/s) :	0.0043							H Final:	1.23	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	4.27	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	1.23	m
	Q (l/s) :	9.21			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	13.48			V:	3.73	f:	0.015	hk:	- 0.03	m
	Qt (m3/s) :	0.0135							H Final:	1.21	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L8-P2	Qi (l/s) :	4.27	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	1.21	m
	Q (l/s) :	9.21			A(m2):	0.00	k:	0.231	hf:	0.09	m
	Qt (l/s) :	13.48			V:	3.73	f:	0.015	hk:	0.16	m
	Qt (m3/s) :	0.0135							H Final:	1.47	m
P2-L9	Qi (l/s) :	4.27	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	2.89	H Inicial	1.47	m
	Q (l/s) :	9.21			A(m2):	0.00	k:	0.723	hf:	0.47	m
	Qt (l/s) :	13.48			V:	3.73	f:	0.015	hk:	0.51	m
	Qt (m3/s) :	0.0135							H Final:	2.44	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	2.3600	3.155	2.444771779	0.710228221
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1550			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

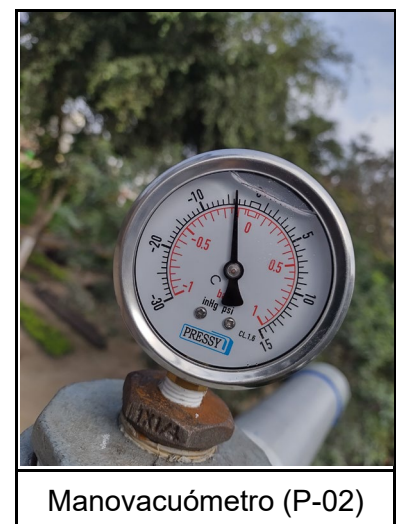
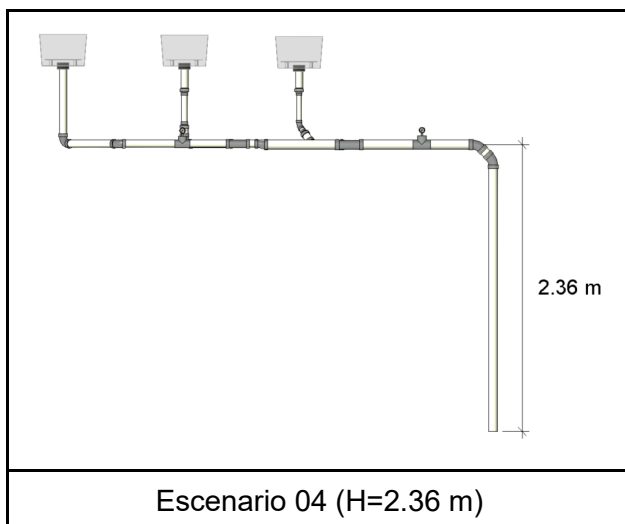
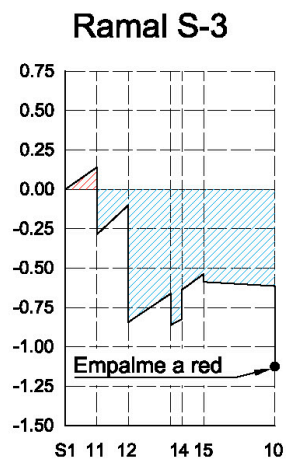
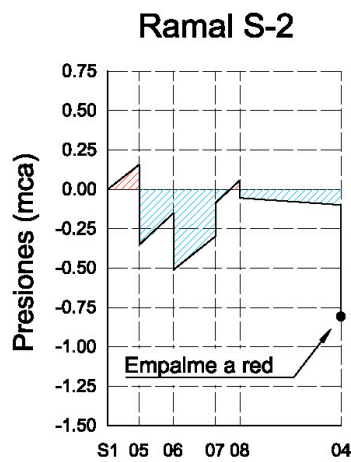
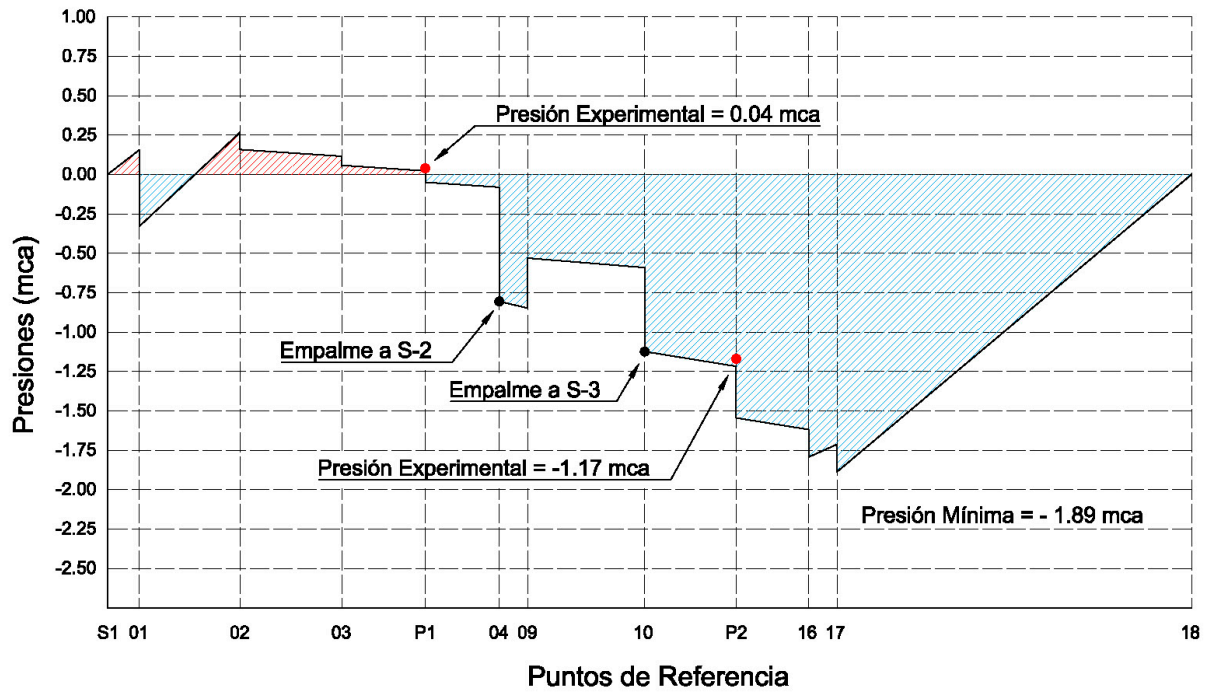
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.73	0.710228

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Anexo 8

Escenario 05 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones

Tabla 01: Niveles de Contenedores

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	17.00	17.00	0.00	0.0000
2	19.50	17.00	-2.50	-0.0250
3	18.00	17.00	-1.00	-0.0100

Tabla 02: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 01)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga				
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final	
S1-P1	4.46		D	2	0.0542	1.82	0.00	1.93		-	0.12		
	0.00				0.0542	0.47	0.00	1.93	0.018	0.59			
	4.46				0.0542	0.47	0.00	1.93	0.018	0.59	0.03	0.03	
	0.0045									0.65			
P1-L3,1	4.46		D	2	0.0542	0.47	0.00	1.93	0.59	0.03	0.03		
	0.00				0.0542	0.47	0.00	1.93	0.018	0.65			
	4.46				0.0542	0.00	0.00	3.95	0.016	0.65	0.00	0.11	
	0.0045									0.76			
L3,1-L3	4.46		D	2	0.0542	0.00	0.00	3.95	0.65	0.00	0.11		
	4.65				0.0542	0.00	0.00	3.95	0.016	0.76			
	9.11									0.76			
	0.0091									0.76			

Tabla 03: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga				
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final	
S2-L1	4.65		D	2	0.0542	0.22	0.00	2.02	-	0.02	0.36		
	0.00				0.0542	0.27	0.00	2.02	0.018	0.35			
	4.65				0.0434	0.27	0.00	3.14	0.017	0.41	0.05	-	
	0.0046									0.41			
L1-L2	4.65		D	1.5	0.0434	0.27	0.00	3.14	0.35	0.05	-		
	0.00				0.0434	0.27	0.00	3.14	0.017	0.41			
	4.65				0.0542	0.80	0.00	2.02	0.018	0.41	0.06	0.20	
	0.0046									0.66			
L2-L3,2	4.65		D	2	0.0542	0.80	0.00	2.02	0.41	0.06	0.20		
	0.00				0.0542	0.80	0.00	2.02	0.018	0.66			
	4.65				0.0542	0.00	0.00	3.95	0.016	0.66	0.00	0.10	
	0.0046									0.76			
L3,2-L3	4.65		D	2	0.0542	0.00	0.00	3.95	0.66	0.00	0.10		
	4.46				0.0542	0.00	0.00	3.95	0.016	0.76			
	9.11									0.76			
	0.0091									0.76			

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L3-L4	Qi (l/s) :	4.65	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.76	m
	Q (l/s) :	4.46			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	9.11			V:	3.95	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0091							H Final:	0.80	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.80	m
	Q (l/s) :	9.11			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	9.11			V:	2.52	f:	0.017	hk:	0.16	m
	Qt (m3/s) :	0.0091							H Final:	1.02	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	9.11	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	1.02	m
	Q (l/s) :	4.25			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	13.36			V:	3.70	f:	0.015	hk:	0.15	m
	Qt (m3/s) :	0.0134							H Final:	1.17	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S3-L5	Qi (l/s) :	4.25	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	- 0.01	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	4.25			V:	1.84	f:	0.018	hk:	0.44	m
	Qt (m3/s) :	0.0042							H Final:	0.45	m
L5-L6	Qi (l/s) :	4.25	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.45	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.276	hf:	0.11	m
	Qt (l/s) :	4.25			V:	3.74	f:	0.017	hk:	0.20	m
	Qt (m3/s) :	0.0042							H Final:	0.75	m
L6-L7	Qi (l/s) :	4.25	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.75	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.368	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	4.25			V:	1.84	f:	0.018	hk:	0.41	m
	Qt (m3/s) :	0.0042							H Final:	1.20	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	4.25	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	1.20	m
	Q (l/s) :	9.11			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	13.36			V:	3.70	f:	0.015	hk:	- 0.02	m
	Qt (m3/s) :	0.0134							H Final:	1.17	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L8-P2	Qi (l/s) :	4.25	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	1.17	m
	Q (l/s) :	9.11			A(m2):	0.00	k:	0.231	hf:	0.09	m
	Qt (l/s) :	13.36			V:	3.70	f:	0.015	hk:	0.16	m
	Qt (m3/s) :	0.0134							H Final:	1.43	m
P2-L9	Qi (l/s) :	4.25	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	2.79	H Inicial	1.43	m
	Q (l/s) :	9.11			A(m2):	0.00	k:	0.724	hf:	0.44	m
	Qt (l/s) :	13.36			V:	3.70	f:	0.015	hk:	0.50	m
	Qt (m3/s) :	0.0134							H Final:	2.37	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	2.2600	3.07	2.372538094	0.697461906
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1700			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

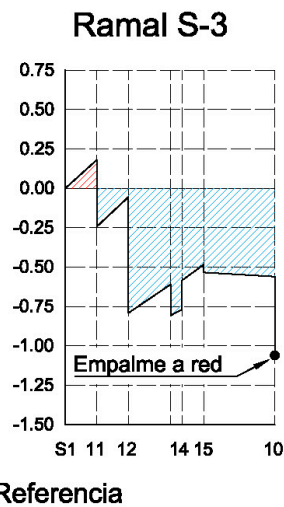
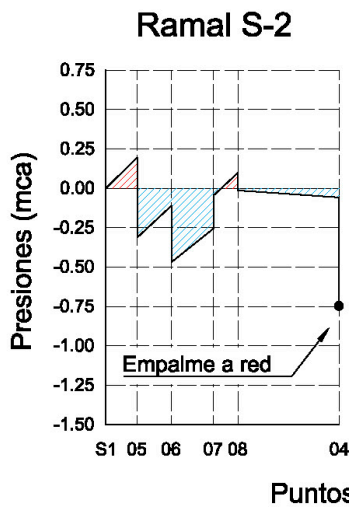
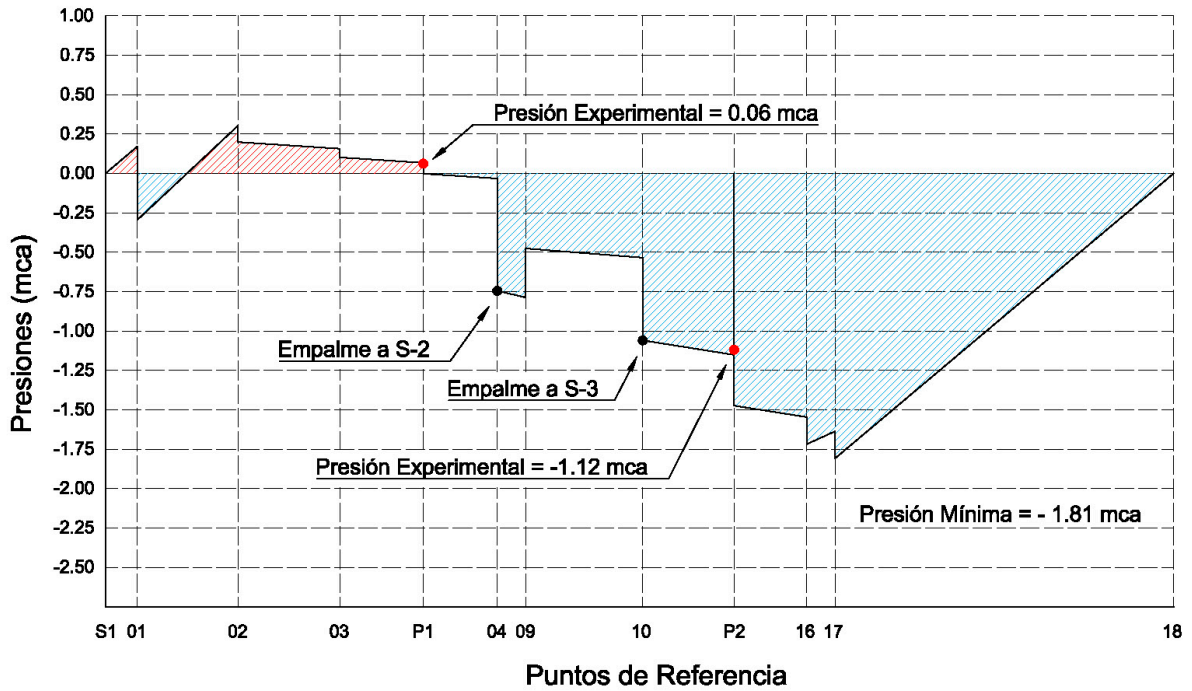
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.70	0.697461

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

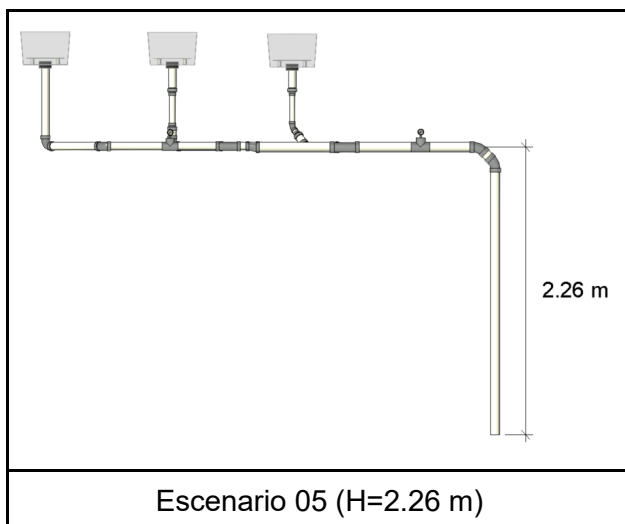
- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacuómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Manovacómetro (P-01)



Escenario 05 (H=2.26 m)



Manovacómetro (P-02)

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L3-L4	Qi (l/s) :	4.52	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.75	m
	Q (l/s) :	4.42			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	8.95			V:	3.88	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0089							H Final:	0.79	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.79	m
	Q (l/s) :	8.95			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	8.95			V:	2.48	f:	0.017	hk:	0.15	m
	Qt (m3/s) :	0.0089							H Final:	1.00	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	8.95	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	1.00	m
	Q (l/s) :	4.16			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	13.10			V:	3.63	f:	0.015	hk:	0.15	m
	Qt (m3/s) :	0.0131							H Final:	1.14	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S3-L5	Qi (l/s) :	4.16	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	0.01	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	4.16			V:	1.80	f:	0.019	hk:	0.43	m
	Qt (m3/s) :	0.0042							H Final:	0.45	m
L5-L6	Qi (l/s) :	4.16	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.45	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.277	hf:	0.11	m
	Qt (l/s) :	4.16			V:	3.66	f:	0.017	hk:	0.19	m
	Qt (m3/s) :	0.0042							H Final:	0.74	m
L6-L7	Qi (l/s) :	4.16	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.74	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.369	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	4.16			V:	1.80	f:	0.019	hk:	0.39	m
	Qt (m3/s) :	0.0042							H Final:	1.17	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	4.16	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	1.17	m
	Q (l/s) :	8.95			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	13.10			V:	3.63	f:	0.015	hk:	- 0.02	m
	Qt (m3/s) :	0.0131							H Final:	1.14	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L8-P2	Qi (l/s) :	4.16	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	1.14	m
	Q (l/s) :	8.95			A(m2):	0.00	k:	0.232	hf:	0.09	m
	Qt (l/s) :	13.10			V:	3.63	f:	0.015	hk:	0.16	m
	Qt (m3/s) :	0.0131							H Final:	1.39	m
P2-L9	Qi (l/s) :	4.16	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	2.69	H Inicial	1.39	m
	Q (l/s) :	8.95			A(m2):	0.00	k:	0.726	hf:	0.41	m
	Qt (l/s) :	13.10			V:	3.63	f:	0.015	hk:	0.49	m
	Qt (m3/s) :	0.0131							H Final:	2.29	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	2.1600	2.96	2.288494582	0.671505418
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1600			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

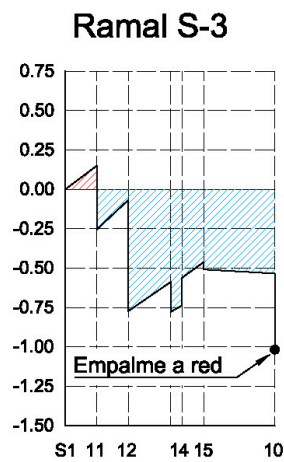
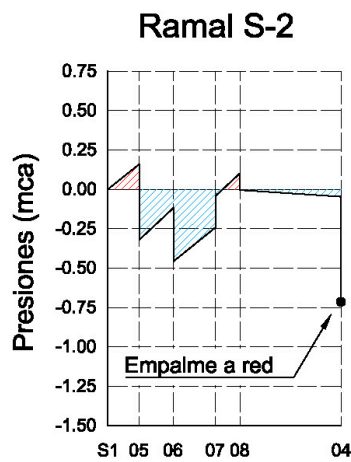
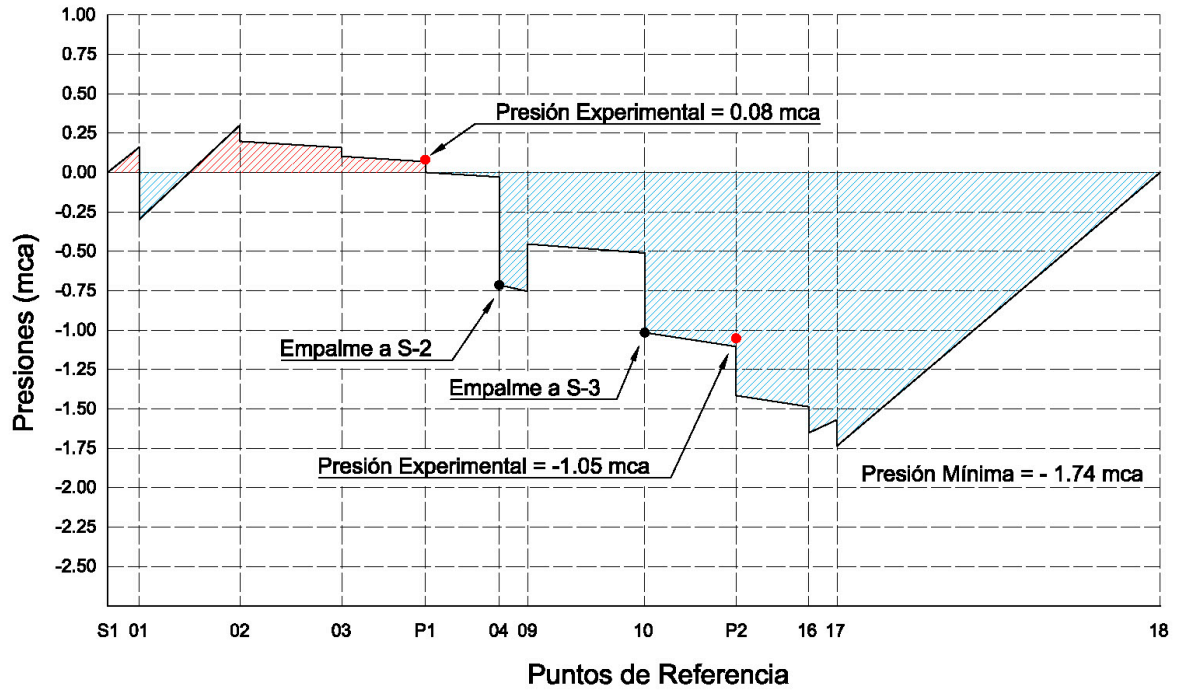
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.63	0.671505

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

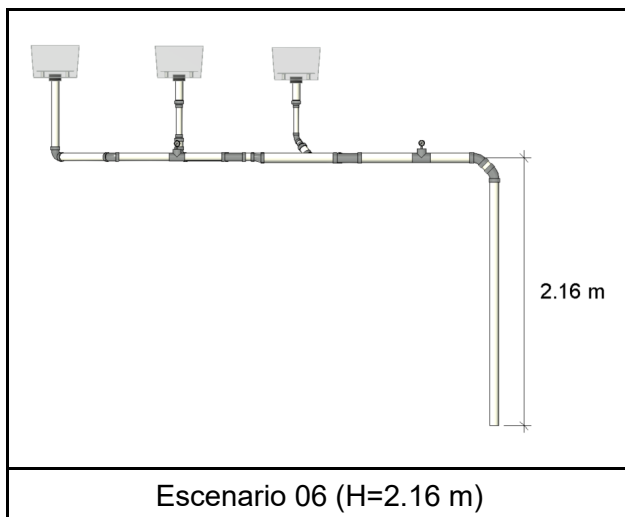
- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Manovacúometro (P-01)



Manovacúometro (P-02)

Anexo 10

Escenario 07 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones

Tabla 01: Niveles de Contenedores

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	14.50	14.50	0.00	0.0000
2	16.25	14.50	-1.75	-0.0175
3	15.50	14.50	-1.00	-0.0100

Tabla 02: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 01)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S1-P1	4.31	0.0043	D	2	0.0542	1.82	0.00	1.87	0.00	0.11	0.44	0.55
	0.00				0.00		2.480					
	4.31				0.018							
	0.0043											
P1-L3,1	4.31	0.0043	D	2	0.0542	0.47	0.00	1.87	0.55	0.03	0.03	0.61
	0.00				0.184							
	4.31				0.018							
	0.0043											
L3,1-L3	4.31	0.0088	D	2	0.0542	0.00	0.00	3.81	0.61	0.00	0.10	0.71
	4.48				0.137							
	8.79				0.016							
	0.0088											

Tabla 03: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S2-L1	4.48	0.0045	D	2	0.0542	0.22	0.00	1.94	0.00	0.01	0.34	0.33
	0.00				1.750							
	4.48				0.018							
	0.0045											
L1-L2	4.48	0.0045	D	1.5	0.0434	0.27	0.00	3.03	0.33	0.05	-	0.38
	0.00				-							
	4.48				0.017							
	0.0045											
L2-L3,2	4.48	0.0045	D	2	0.0542	0.80	0.00	1.94	0.38	0.05	0.19	0.62
	0.00				0.965							
	4.48				0.018							
	0.0045											
L3,2-L3	4.48	0.0088	D	2	0.0542	0.00	0.00	3.81	0.62	0.00	0.09	0.71
	4.31				0.127							
	8.79				0.016							
	0.0088											

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	H Inicial	hf:	hk:	H Final:	
L3-L4	Qi (l/s) :	4.48	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.71	m
	Q (l/s) :	4.31			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	8.79			V:	3.81	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0088							H Final:	0.75	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.75	m
	Q (l/s) :	8.79			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	8.79			V:	2.44	f:	0.017	hk:	0.15	m
	Qt (m3/s) :	0.0088							H Final:	0.96	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	8.79	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.96	m
	Q (l/s) :	4.11			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	12.90			V:	3.57	f:	0.015	hk:	0.14	m
	Qt (m3/s) :	0.0129							H Final:	1.10	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	H Inicial	hf:	hk:	H Final:	
S3-L5	Qi (l/s) :	4.11	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	- 0.01	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	4.11			V:	1.78	f:	0.019	hk:	0.42	m
	Qt (m3/s) :	0.0041							H Final:	0.42	m
L5-L6	Qi (l/s) :	4.11	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.42	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.278	hf:	0.10	m
	Qt (l/s) :	4.11			V:	3.62	f:	0.017	hk:	0.19	m
	Qt (m3/s) :	0.0041							H Final:	0.71	m
L6-L7	Qi (l/s) :	4.11	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.71	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.370	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	4.11			V:	1.78	f:	0.019	hk:	0.38	m
	Qt (m3/s) :	0.0041							H Final:	1.12	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	4.11	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	1.12	m
	Q (l/s) :	8.79			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	12.90			V:	3.57	f:	0.015	hk:	- 0.02	m
	Qt (m3/s) :	0.0129							H Final:	1.10	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	H Inicial	hf:	hk:	H Final:	
L8-P2	Qi (l/s) :	4.11	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	1.10	m
	Q (l/s) :	8.79			A(m2):	0.00	k:	0.232	hf:	0.09	m
	Qt (l/s) :	12.90			V:	3.57	f:	0.015	hk:	0.15	m
	Qt (m3/s) :	0.0129							H Final:	1.34	m
P2-L9	Qi (l/s) :	4.11	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	2.59	H Inicial	1.34	m
	Q (l/s) :	8.79			A(m2):	0.00	k:	0.728	hf:	0.39	m
	Qt (l/s) :	12.90			V:	3.57	f:	0.015	hk:	0.47	m
	Qt (m3/s) :	0.0129							H Final:	2.19	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	2.0600	2.845	2.19454005	0.65045995
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1450			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

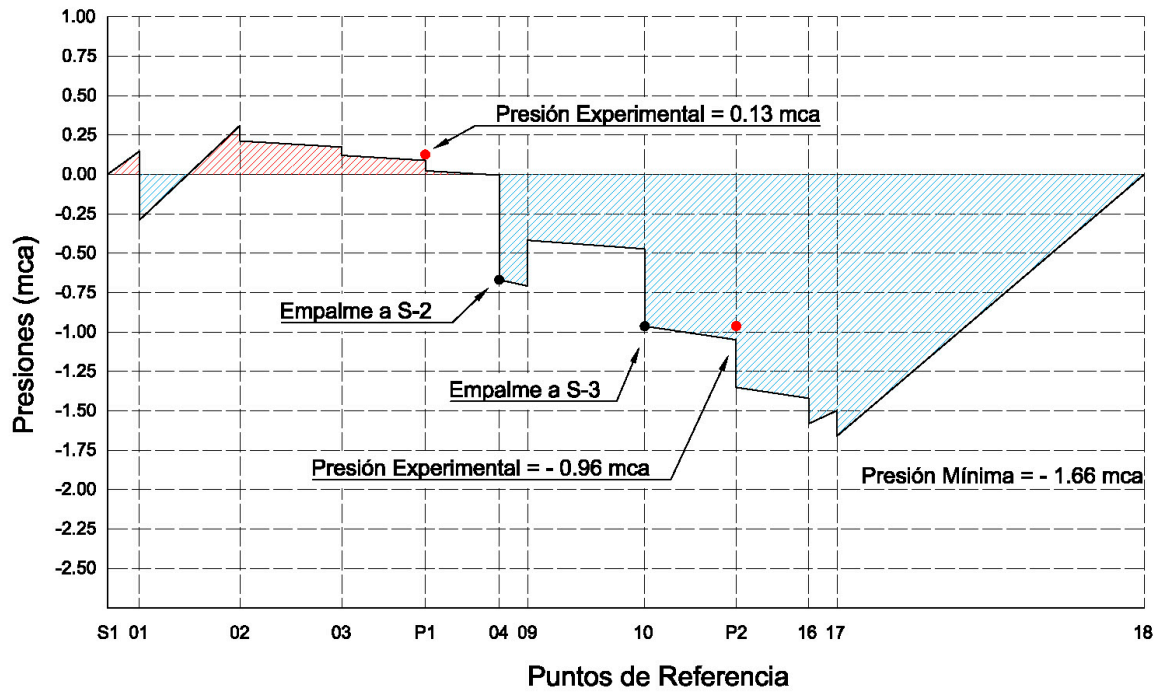
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.57	0.650460

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

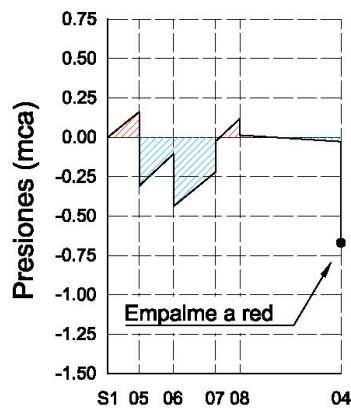
- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

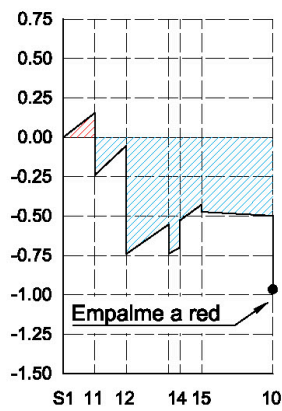
DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Ramal S-2



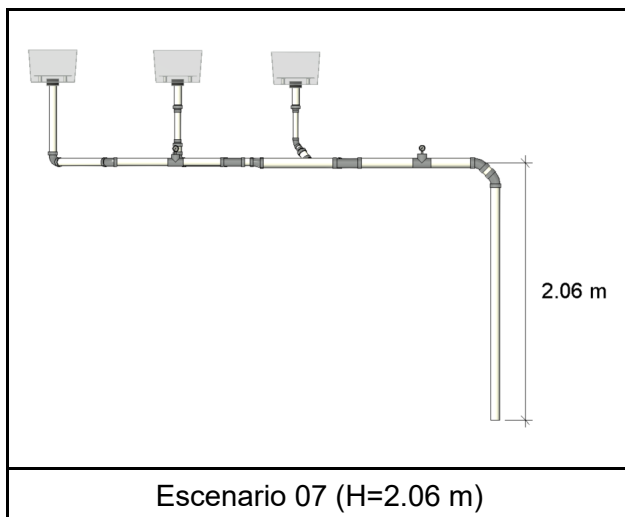
Ramal S-3



Puntos de Referencia



Manovacúmetro (P-01)



Escenario 07 ($H=2.06 \text{ m}$)



Manovacúmetro (P-02)

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L3-L4	Qi (l/s) :	4.31	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.72	m
	Q (l/s) :	4.34			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	8.65			V:	3.75	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0086							H Final:	0.75	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.75	m
	Q (l/s) :	8.65			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	8.65			V:	2.40	f:	0.017	hk:	0.14	m
	Qt (m3/s) :	0.0086							H Final:	0.95	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	8.65	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.95	m
	Q (l/s) :	4.03			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	12.68			V:	3.51	f:	0.016	hk:	0.14	m
	Qt (m3/s) :	0.0127							H Final:	1.09	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S3-L5	Qi (l/s) :	4.03	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	0.02	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	4.03			V:	1.75	f:	0.019	hk:	0.40	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	0.43	m
L5-L6	Qi (l/s) :	4.03	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.43	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.279	hf:	0.10	m
	Qt (l/s) :	4.03			V:	3.56	f:	0.017	hk:	0.18	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	0.71	m
L6-L7	Qi (l/s) :	4.03	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.71	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.371	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	4.03			V:	1.75	f:	0.019	hk:	0.37	m
	Qt (m3/s) :	0.0040							H Final:	1.11	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	4.03	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	1.11	m
	Q (l/s) :	8.65			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	12.68			V:	3.51	f:	0.016	hk:	- 0.02	m
	Qt (m3/s) :	0.0127							H Final:	1.09	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L8-P2	Qi (l/s) :	4.03	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	1.09	m
	Q (l/s) :	8.65			A(m2):	0.00	k:	0.233	hf:	0.08	m
	Qt (l/s) :	12.68			V:	3.51	f:	0.016	hk:	0.15	m
	Qt (m3/s) :	0.0127							H Final:	1.32	m
P2-L9	Qi (l/s) :	4.03	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	2.48	H Inicial	1.32	m
	Q (l/s) :	8.65			A(m2):	0.00	k:	0.731	hf:	0.36	m
	Qt (l/s) :	12.68			V:	3.51	f:	0.016	hk:	0.46	m
	Qt (m3/s) :	0.0127							H Final:	2.14	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	1.9500	2.765	2.136103028	0.628896972
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1750			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.51	0.628897

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

DIAGRAMAS DE PRESIÓN General

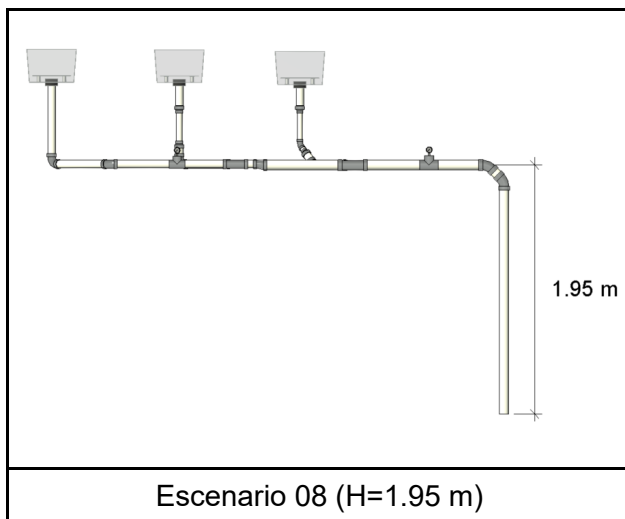
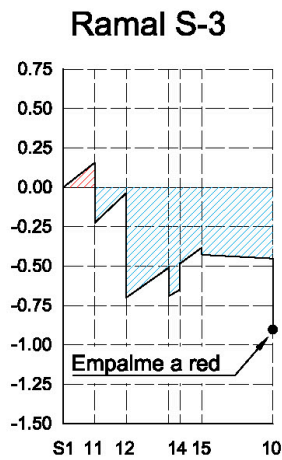
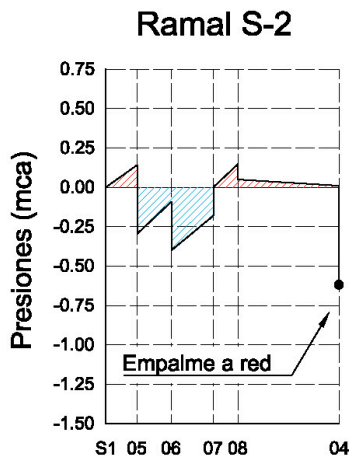
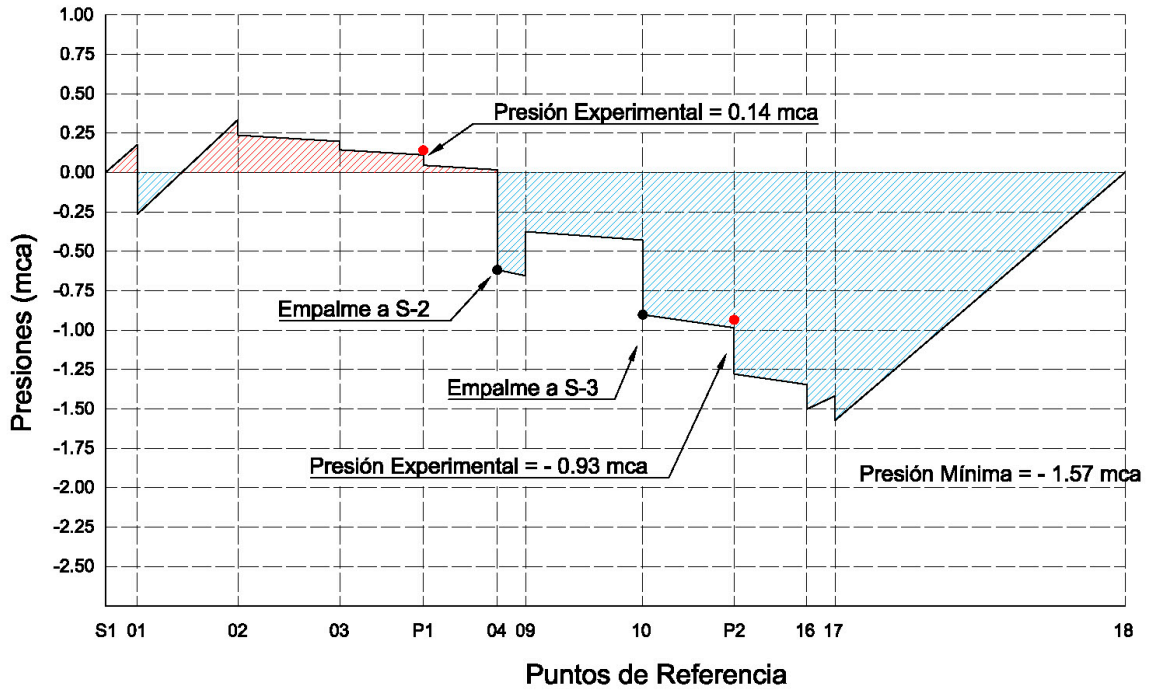


Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	H Inicial	hf:	hk:	H Final:	
L3-L4	Qi (l/s) :	4.34	D	2	0.0542	0.18	0.68	0.04	-	0.72	
	Q (l/s) :	4.20			A(m2):	k:	0.00	-	0.04	m	
	Qt (l/s) :	8.55			V:	f:	3.70	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0085							H Final:	0.72	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	0.0678	0.74	0.72	0.05	0.14	0.91	
	Q (l/s) :	8.55			A(m2):	k:	0.00	0.490	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	8.55			V:	f:	2.37	0.017	hk:	0.14	m
	Qt (m3/s) :	0.0085							H Final:	0.91	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	8.55	D	2.5	0.0678	0.00	0.91	0.00	0.13	1.04	
	Q (l/s) :	3.94			A(m2):	k:	0.00	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	12.48			V:	f:	3.46	0.016	hk:	0.13	m
	Qt (m3/s) :	0.0125							H Final:	1.04	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	H Inicial	hf:	hk:	H Final:	
S3-L5	Qi (l/s) :	3.94	D	2	0.0542	0.20	0.02	0.01	0.38	0.41	
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	k:	0.00	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	3.94			V:	f:	1.71	0.019	hk:	0.38	m
	Qt (m3/s) :	0.0039							H Final:	0.41	m
L5-L6	Qi (l/s) :	3.94	D	1.25	0.038	0.34	0.41	0.10	0.17	0.68	
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	k:	0.00	0.280	hf:	0.10	m
	Qt (l/s) :	3.94			V:	f:	3.47	0.018	hk:	0.17	m
	Qt (m3/s) :	0.0039							H Final:	0.68	m
L6-L7	Qi (l/s) :	3.94	D	2	0.0542	0.59	0.68	0.03	0.35	1.06	
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	k:	0.00	2.373	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	3.94			V:	f:	1.71	0.019	hk:	0.35	m
	Qt (m3/s) :	0.0039							H Final:	1.06	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	3.94	D	2.5	0.0678	0.00	1.06	0.00	-	1.04	
	Q (l/s) :	8.55			A(m2):	k:	0.00	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	12.48			V:	f:	3.46	0.016	hk:	- 0.02	m
	Qt (m3/s) :	0.0125							H Final:	1.04	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	H Inicial	hf:	hk:	H Final:	
L8-P2	Qi (l/s) :	3.94	D	2.5	0.0678	0.58	1.04	0.08	0.14	1.27	
	Q (l/s) :	8.55			A(m2):	k:	0.00	0.234	hf:	0.08	m
	Qt (l/s) :	12.48			V:	f:	3.46	0.016	hk:	0.14	m
	Qt (m3/s) :	0.0125							H Final:	1.27	m
P2-L9	Qi (l/s) :	3.94	D	2.5	0.0678	2.38	1.27	0.33	0.45	2.05	
	Q (l/s) :	8.55			A(m2):	k:	0.00	0.733	hf:	0.33	m
	Qt (l/s) :	12.48			V:	f:	3.46	0.016	hk:	0.45	m
	Qt (m3/s) :	0.0125							H Final:	2.05	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	1.8500	2.655	2.04562062	0.60937938
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1650			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

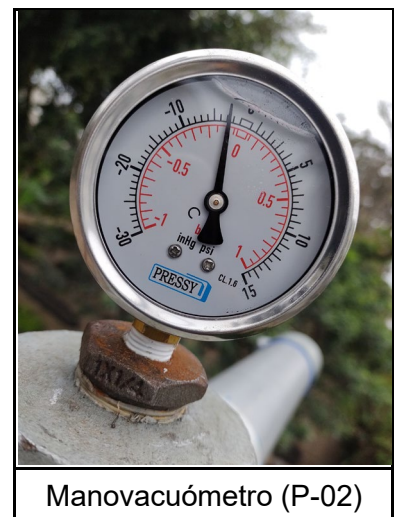
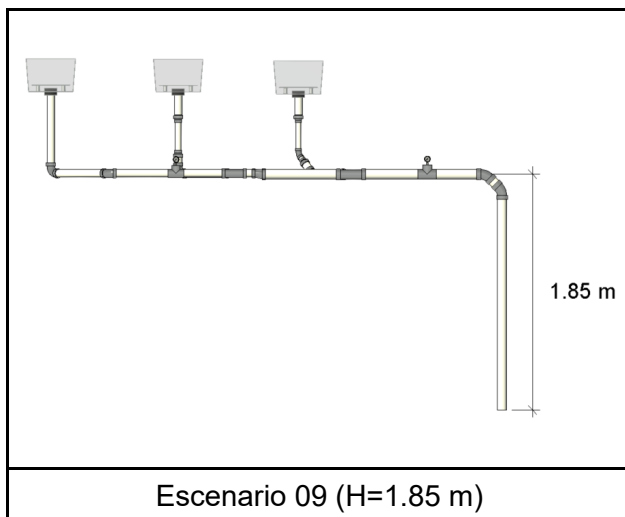
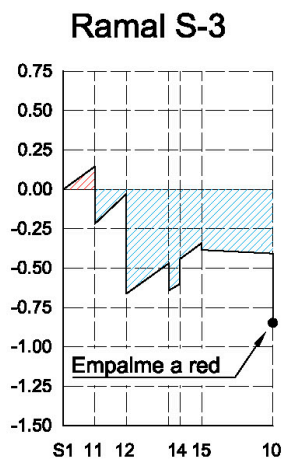
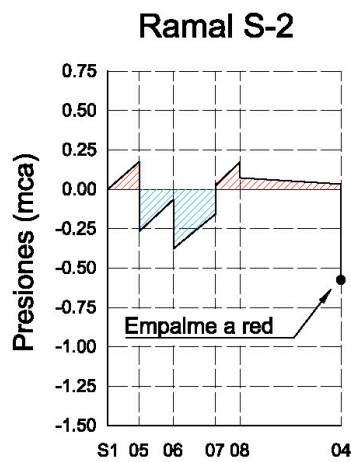
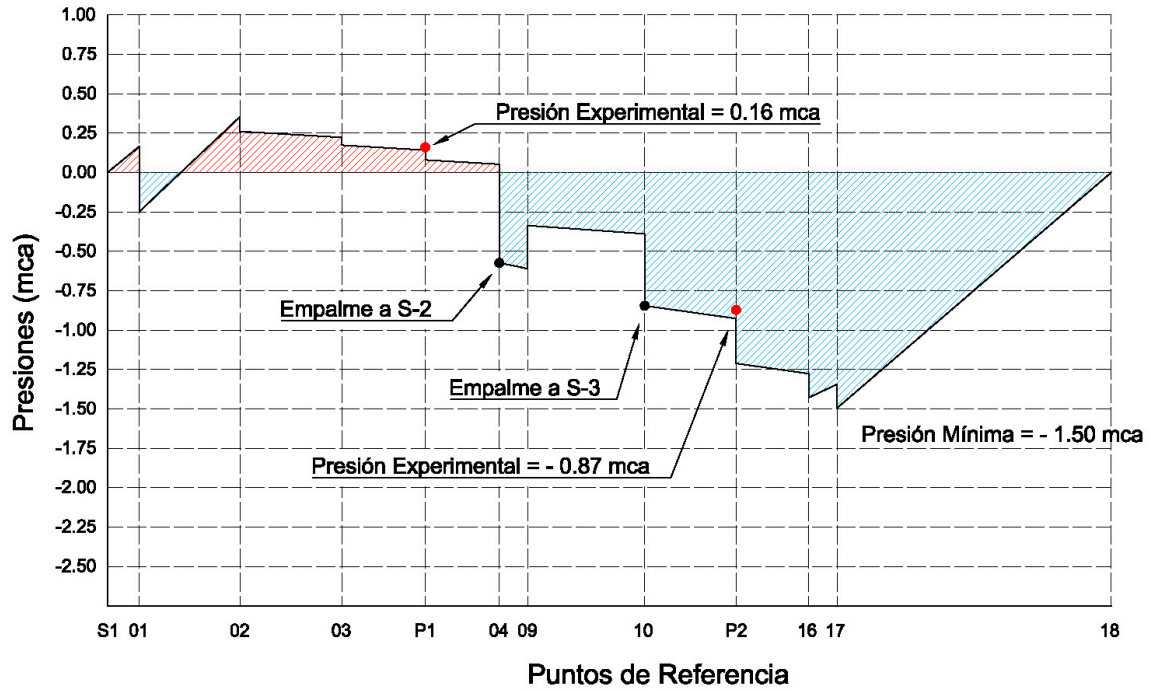
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.46	0.609379

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Anexo 13

Escenario 10 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones

Tabla 01: Niveles de Contenedores

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	16.00	16.00	0.00	0.0000
2	14.00	16.00	2.00	0.0200
3	13.00	16.00	3.00	0.0300

Tabla 02: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 01)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S1-P1	4.17	0.0042	D	2	0.0542	1.82	0.00	1.81	0.00	0.10	0.41	0.52
	0.00				0.0542	0.47	0.00	0.019	0.52	0.03	0.03	0.57
	4.17				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.57	0.00	0.09	0.67
	0.0042				0.0542	0.00	0.00	0.016	0.67	0.67	0.67	0.67
P1-L3,1	4.17	0.0042	D	2	0.0542	0.47	0.00	1.81	0.52	0.03	0.03	0.57
	0.00				0.0542	0.47	0.00	0.019	0.52	0.03	0.03	0.57
	4.17				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.57	0.00	0.09	0.67
	0.0042				0.0542	0.00	0.00	0.016	0.67	0.67	0.67	0.67
L3,1-L3	4.17	0.0042	D	2	0.0542	0.00	0.00	3.62	0.57	0.00	0.09	0.67
	4.19				0.0542	0.00	0.00	0.016	0.67	0.67	0.67	0.67
	8.36				0.0542	0.00	0.00	0.016	0.67	0.67	0.67	0.67
	0.0084				0.0542	0.00	0.00	0.016	0.67	0.67	0.67	0.67

Tabla 03: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S2-L1	4.19	0.0042	D	2	0.0542	0.22	0.00	1.82	0.02	0.01	0.29	0.33
	0.00				0.0542	0.22	0.00	0.018	0.33	0.04	0.04	0.37
	4.19				0.0542	0.22	0.00	0.018	0.33	0.04	0.04	0.37
	0.0042				0.0542	0.22	0.00	0.018	0.33	0.04	0.04	0.37
L1-L2	4.19	0.0042	D	1.5	0.0434	0.27	0.00	2.83	0.33	0.04	-	0.37
	0.00				0.0434	0.27	0.00	0.018	0.33	0.04	0.04	0.37
	4.19				0.0434	0.27	0.00	0.018	0.33	0.04	0.04	0.37
	0.0042				0.0434	0.27	0.00	0.018	0.33	0.04	0.04	0.37
L2-L3,2	4.19	0.0042	D	2	0.0542	0.80	0.00	1.82	0.37	0.05	0.16	0.58
	0.00				0.0542	0.80	0.00	0.018	0.58	0.05	0.05	0.58
	4.19				0.0542	0.80	0.00	0.018	0.58	0.05	0.05	0.58
	0.0042				0.0542	0.80	0.00	0.018	0.58	0.05	0.05	0.58
L3,2-L3	4.19	0.0042	D	2	0.0542	0.00	0.00	3.62	0.58	0.00	0.09	0.67
	4.17				0.0542	0.00	0.00	0.016	0.67	0.67	0.67	0.67
	8.36				0.0542	0.00	0.00	0.016	0.67	0.67	0.67	0.67
	0.0084				0.0542	0.00	0.00	0.016	0.67	0.67	0.67	0.67

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	H Inicial	hf:	hk:	H Final:	
L3-L4	Qi (l/s) :	4.19	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.67	m
	Q (l/s) :	4.17			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	8.36			V:	3.62	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0084							H Final:	0.70	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.70	m
	Q (l/s) :	8.36			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	8.36			V:	2.32	f:	0.017	hk:	0.13	m
	Qt (m3/s) :	0.0084							H Final:	0.89	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	8.36	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.89	m
	Q (l/s) :	3.86			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	12.22			V:	3.39	f:	0.016	hk:	0.13	m
	Qt (m3/s) :	0.0122							H Final:	1.01	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	H Inicial	hf:	hk:	H Final:	
S3-L5	Qi (l/s) :	3.86	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	0.03	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	3.86			V:	1.67	f:	0.019	hk:	0.37	m
	Qt (m3/s) :	0.0039							H Final:	0.41	m
L5-L6	Qi (l/s) :	3.86	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.41	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.281	hf:	0.09	m
	Qt (l/s) :	3.86			V:	3.40	f:	0.018	hk:	0.17	m
	Qt (m3/s) :	0.0039							H Final:	0.67	m
L6-L7	Qi (l/s) :	3.86	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.67	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.374	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	3.86			V:	1.67	f:	0.019	hk:	0.34	m
	Qt (m3/s) :	0.0039							H Final:	1.03	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	3.86	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	1.03	m
	Q (l/s) :	8.36			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	12.22			V:	3.39	f:	0.016	hk:	- 0.02	m
	Qt (m3/s) :	0.0122							H Final:	1.01	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	H Inicial	hf:	hk:	H Final:	
L8-P2	Qi (l/s) :	3.86	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	1.01	m
	Q (l/s) :	8.36			A(m2):	0.00	k:	0.235	hf:	0.08	m
	Qt (l/s) :	12.22			V:	3.39	f:	0.016	hk:	0.14	m
	Qt (m3/s) :	0.0122							H Final:	1.23	m
P2-L9	Qi (l/s) :	3.86	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	2.28	H Inicial	1.23	m
	Q (l/s) :	8.36			A(m2):	0.00	k:	0.736	hf:	0.31	m
	Qt (l/s) :	12.22			V:	3.39	f:	0.016	hk:	0.43	m
	Qt (m3/s) :	0.0122							H Final:	1.97	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	1.7500	2.55	1.965950775	0.584049225
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1600			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

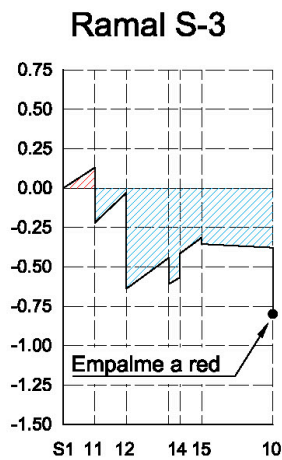
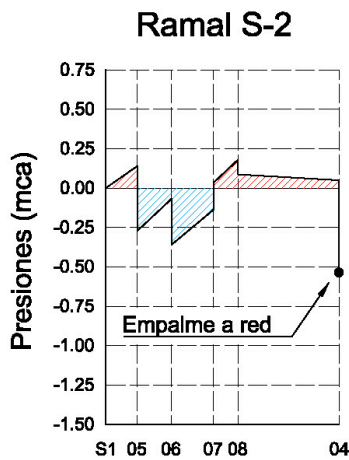
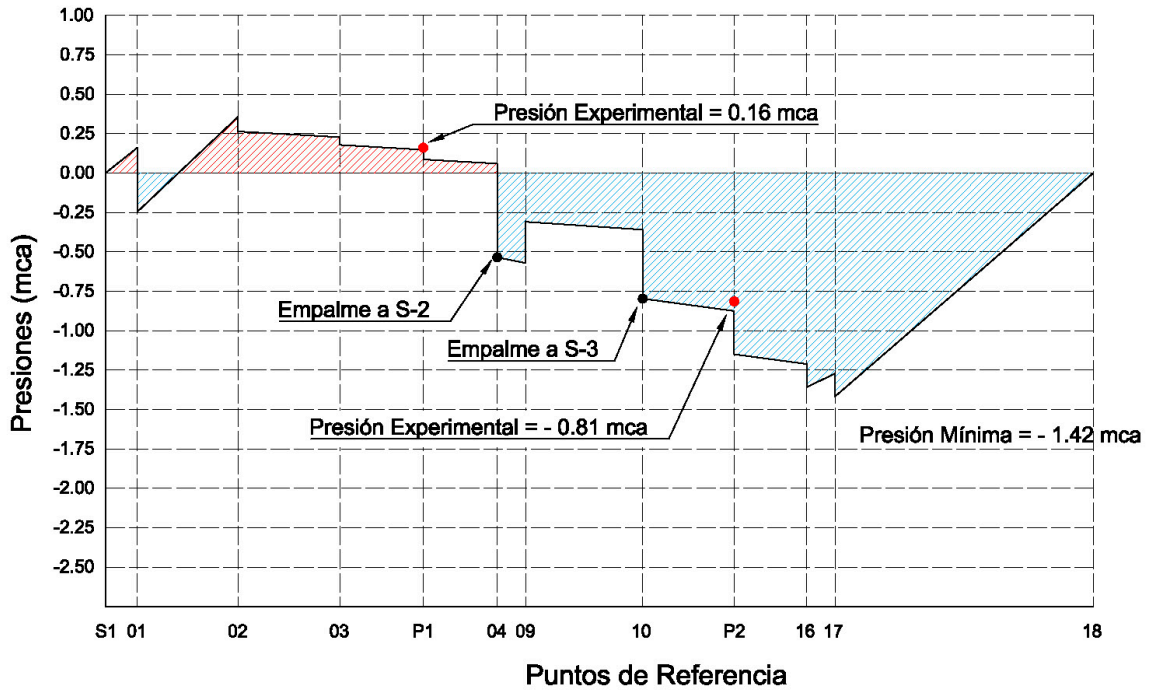
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.39	0.584049

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

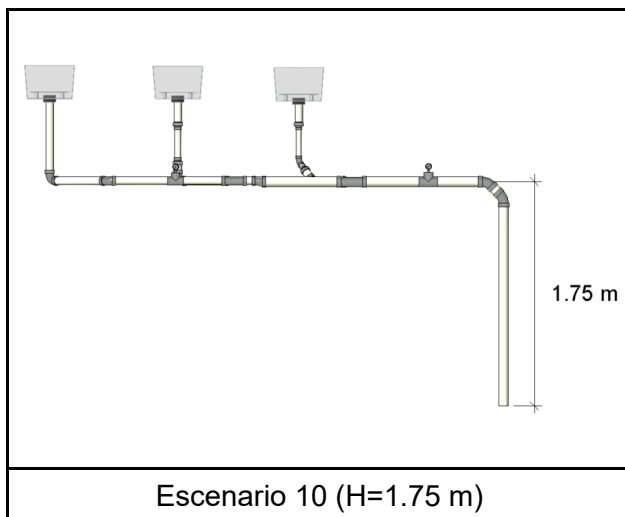
- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Manovacúmetro (P-01)



Escenario 10 (H=1.75 m)



Manovacúmetro (P-02)

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga					
					D(m)	L(m)	A(m ²)	k	V	f	H Inicial	hf	hk	H Final
L3-L4	Qi (l/s) :	4.12	D	2	0.0542	0.18	0.00	-	3.55	0.016	0.64	0.03	-	0.67
	Q (l/s) :	4.06			A(m ²):	k:			hf:	0.03	m			
	Qt (l/s) :	8.19			V:	f:			hk:	-	m			
	Qt (m ³ /s) :	0.0082							H Final:	0.67	m			
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	0.0678	0.74	0.00	0.490	2.27	0.017	0.67	0.05	0.13	0.85
	Q (l/s) :	8.19			A(m ²):	k:			hf:	0.05	m			
	Qt (l/s) :	8.19			V:	f:			hk:	0.13	m			
	Qt (m ³ /s) :	0.0082							H Final:	0.85	m			
L8,1-L8	Qi (l/s) :	8.19	D	2.5	0.0678	0.00	0.00	0.217	3.33	0.016	0.85	0.00	0.12	0.97
	Q (l/s) :	3.83			A(m ²):	k:			hf:	0.00	m			
	Qt (l/s) :	12.02			V:	f:			hk:	0.12	m			
	Qt (m ³ /s) :	0.0120							H Final:	0.97	m			

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga					
					D(m)	L(m)	A(m ²)	k	V	f	H Inicial	hf	hk	H Final
S3-L5	Qi (l/s) :	3.83	D	2	0.0542	0.20	0.00	2.575	1.66	0.019	-	0.01	0.36	0.37
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	k:			hf:	0.01	m			
	Qt (l/s) :	3.83			V:	f:			hk:	0.36	m			
	Qt (m ³ /s) :	0.0038							H Final:	0.37	m			
L5-L6	Qi (l/s) :	3.83	D	1.25	0.038	0.34	0.00	0.282	3.38	0.018	0.37	0.09	0.16	0.63
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	k:			hf:	0.09	m			
	Qt (l/s) :	3.83			V:	f:			hk:	0.16	m			
	Qt (m ³ /s) :	0.0038							H Final:	0.63	m			
L6-L7	Qi (l/s) :	3.83	D	2	0.0542	0.59	0.00	2.374	1.66	0.019	0.63	0.03	0.33	0.99
	Q (l/s) :	0.00			A(m ²):	k:			hf:	0.03	m			
	Qt (l/s) :	3.83			V:	f:			hk:	0.33	m			
	Qt (m ³ /s) :	0.0038							H Final:	0.99	m			
L8,2-L8	Qi (l/s) :	3.83	D	2.5	0.0678	0.00	0.00	- 0.036	3.33	0.016	0.99	0.00	- 0.02	0.97
	Q (l/s) :	8.19			A(m ²):	k:			hf:	0.00	m			
	Qt (l/s) :	12.02			V:	f:			hk:	- 0.02	m			
	Qt (m ³ /s) :	0.0120							H Final:	0.97	m			

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga					
					D(m)	L(m)	A(m ²)	k	V	f	H Inicial	hf	hk	H Final
L8-P2	Qi (l/s) :	3.83	D	2.5	0.0678	0.58	0.00	0.236	3.33	0.016	0.97	0.08	0.13	1.18
	Q (l/s) :	8.19			A(m ²):	k:			hf:	0.08	m			
	Qt (l/s) :	12.02			V:	f:			hk:	0.13	m			
	Qt (m ³ /s) :	0.0120							H Final:	1.18	m			
P2-L9	Qi (l/s) :	3.83	D	2.5	0.0678	2.18	0.00	0.738	3.33	0.016	1.18	0.29	0.42	1.88
	Q (l/s) :	8.19			A(m ²):	k:			hf:	0.29	m			
	Qt (l/s) :	12.02			V:	f:			hk:	0.42	m			
	Qt (m ³ /s) :	0.0120							H Final:	1.88	m			

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	1.6500	2.445	1.880263013	0.564736987
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1550			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

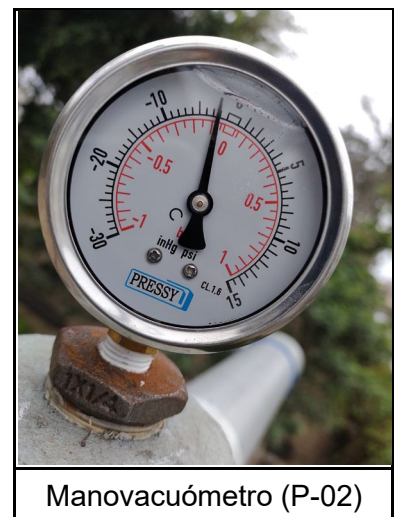
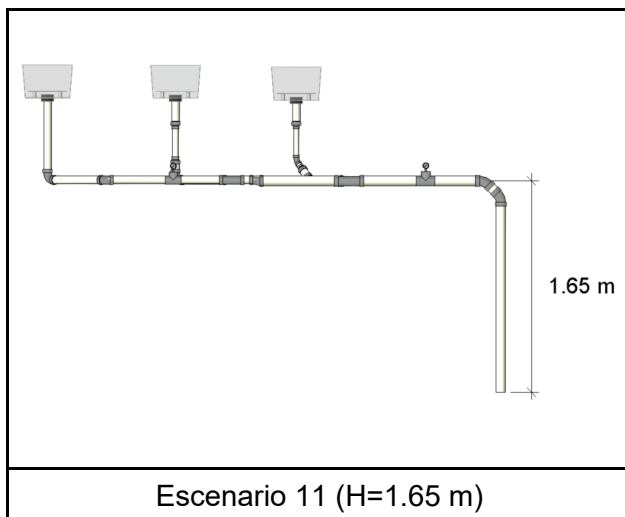
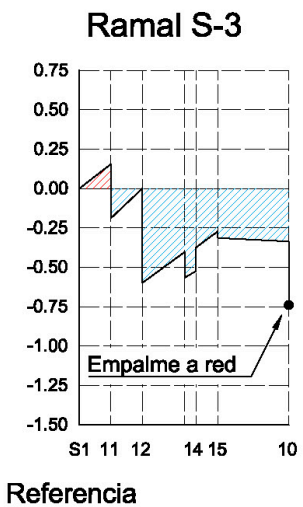
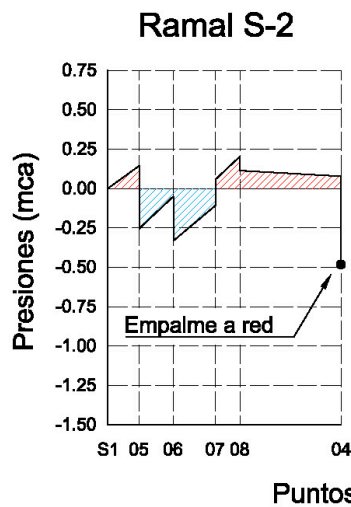
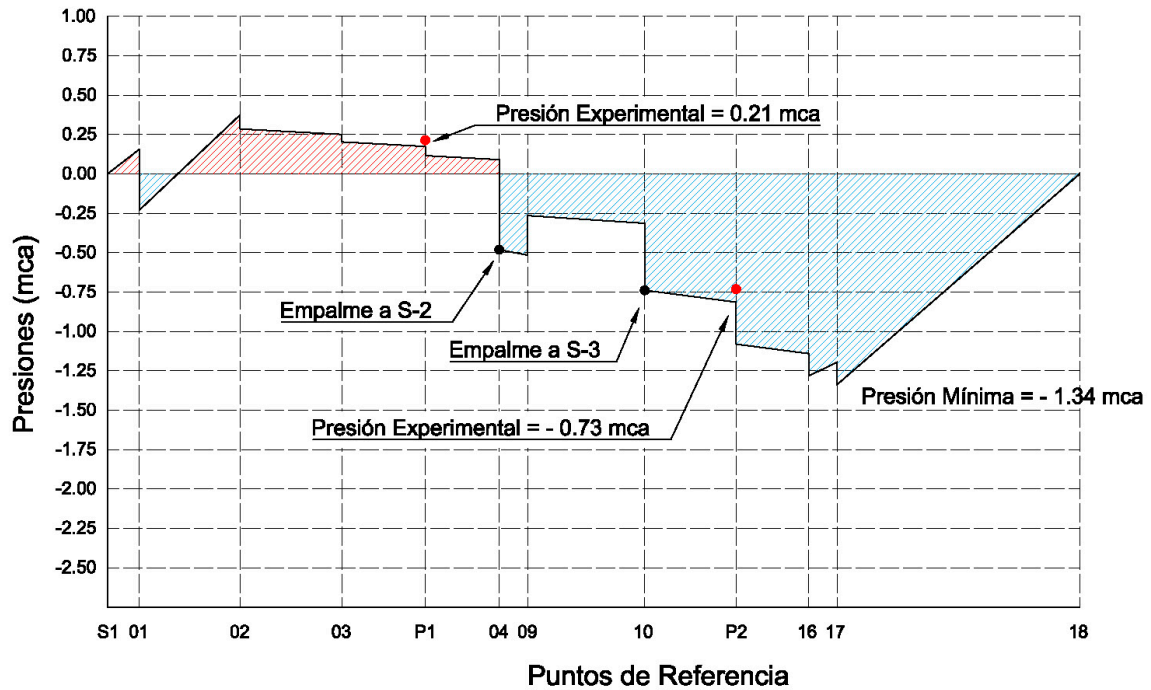
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.33	0.564737

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Anexo 15

Escenario 12 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones

Tabla 01: Niveles de Contenedores

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	15.50	15.50	0.00	0.0000
2	16.50	15.50	-1.00	-0.0100
3	15.50	15.50	0.00	0.0000

Tabla 02: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 01)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S1-P1	3.94	0.0039	D	2	0.0542	1.82	0.00	1.71	0.00	0.09	0.37	0.47
	0.00				0.0542	0.47	0.00	0.019	0.02	0.03	0.52	
	3.94				0.0542	0.00	0.137	0.00	0.08	0.00	0.08	
	0.0039				0.0542	0.00	0.137	0.00	0.08	0.08	0.60	
P1-L3,1	3.94	0.0039	D	2	0.0542	0.47	0.00	1.71	0.00	0.02	0.03	0.52
	0.00				0.0542	0.47	0.00	0.019	0.02	0.03	0.52	
	3.94				0.0542	0.00	0.137	0.00	0.08	0.00	0.08	
	0.0039				0.0542	0.00	0.137	0.00	0.08	0.08	0.60	
L3,1-L3	3.94	0.0039	D	2	0.0542	0.00	0.00	3.48	0.00	0.00	0.08	0.60
	4.08				0.0542	0.00	0.137	0.00	0.00	0.00	0.00	
	8.03				0.0542	0.00	0.137	0.00	0.00	0.00	0.00	
	0.0080				0.0542	0.00	0.137	0.00	0.00	0.00	0.00	

Tabla 03: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S2-L1	4.08	0.0041	D	2	0.0542	0.22	0.00	1.77	0.00	0.01	0.28	0.28
	0.00				0.0542	0.22	0.00	0.019	0.01	0.01	0.28	
	4.08				0.0542	0.22	0.00	0.019	0.01	0.01	0.28	
	0.0041				0.0542	0.22	0.00	0.019	0.01	0.01	0.28	
L1-L2	4.08	0.0041	D	1.5	0.0434	0.27	0.00	2.76	0.00	0.04	-	0.32
	0.00				0.0434	0.27	0.00	0.018	0.04	0.04	0.32	
	4.08				0.0434	0.27	0.00	0.018	0.04	0.04	0.32	
	0.0041				0.0434	0.27	0.00	0.018	0.04	0.04	0.32	
L2-L3,2	4.08	0.0041	D	2	0.0542	0.80	0.00	1.77	0.00	0.04	0.16	0.52
	0.00				0.0542	0.80	0.00	0.019	0.04	0.04	0.52	
	4.08				0.0542	0.80	0.00	0.019	0.04	0.04	0.52	
	0.0041				0.0542	0.80	0.00	0.019	0.04	0.04	0.52	
L3,2-L3	4.08	0.0080	D	2	0.0542	0.00	0.00	3.48	0.00	0.00	0.08	0.60
	3.94				0.0542	0.00	0.127	0.00	0.00	0.00	0.00	
	8.03				0.0542	0.00	0.127	0.00	0.00	0.00	0.00	
	0.0080				0.0542	0.00	0.127	0.00	0.00	0.00	0.00	

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	1.5500	2.345	1.784007943	0.560992057
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1550			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

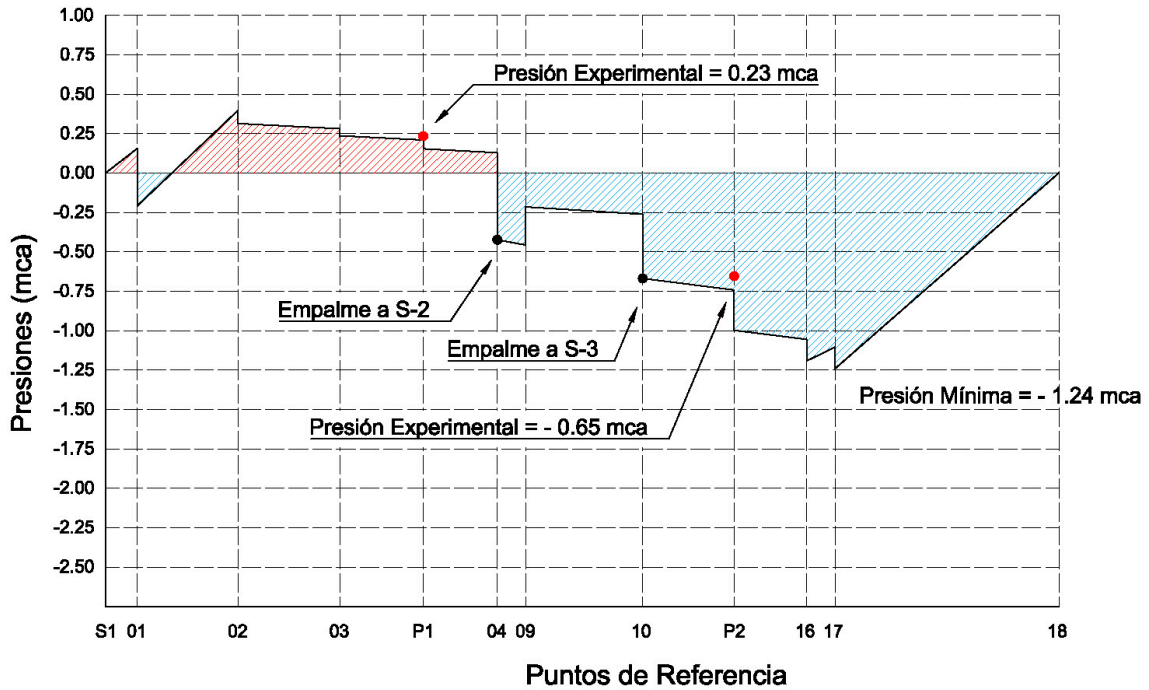
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.26	0.540992

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

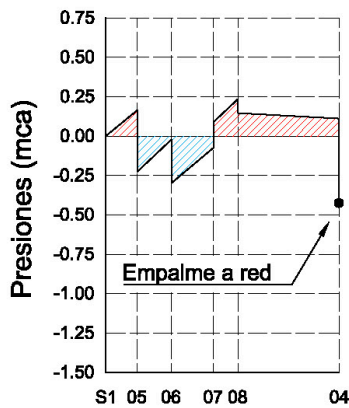
- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

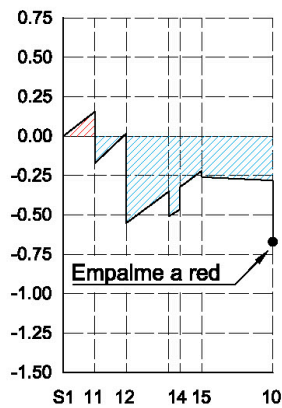
DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Ramal S-2



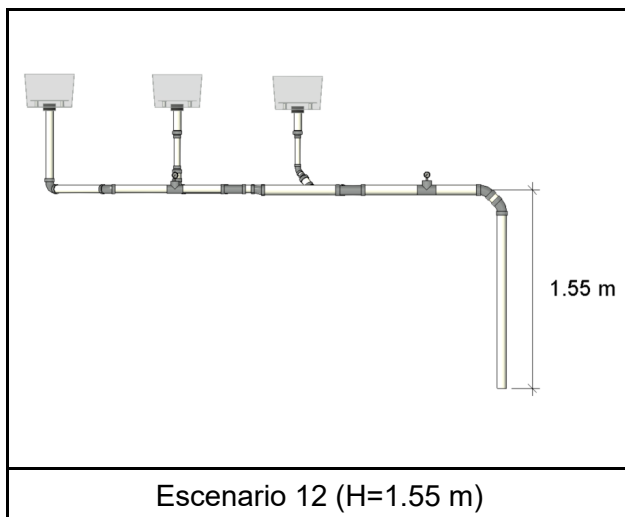
Ramal S-3



Puntos de Referencia



Manovacúmetro (P-01)



Escenario 12 (H=1.55 m)



Manovacúmetro (P-02)

Anexo 16

Escenario 13 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones

Tabla 01: Niveles de Contenedores

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	14.00	14.00	0.00	0.0000
2	15.20	14.00	-1.20	-0.0120
3	14.50	14.00	-0.50	-0.0050

Tabla 02: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 01)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S1-P1	3.84		D	2	0.0542	1.82	0.00	1.67		-	0.09	
	0.00				0.00		2.505	0.35				
	3.84						0.019	0.44				
	0.0038							0.44				
P1-L3,1	3.84		D	2	0.0542	0.47	0.00	1.67	0.44	0.02	0.03	
	0.00				0.00		0.188					
	3.84						0.019	0.49				
	0.0038							0.49				
L3,1-L3	3.84		D	2	0.0542	0.00	0.00	3.40	0.49	0.00	0.08	
	3.99				0.00		0.137					
	7.84						0.016	0.57				
	0.0078							0.57				

Tabla 03: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S2-L1	3.99		D	2	0.0542	0.22	0.00	1.73		- 0.01	0.01	
	0.00				0.00		1.750	0.27				
	3.99						0.019	0.27				
	0.0040							0.27				
L1-L2	3.99		D	1.5	0.0434	0.27	0.00	2.70	0.27	0.04	-	
	0.00				0.00		-					
	3.99						0.018	0.31				
	0.0040							0.31				
L2-L3,2	3.99		D	2	0.0542	0.80	0.00	1.73	0.31	0.04	0.15	
	0.00				0.00		0.978					
	3.99						0.019	0.50				
	0.0040							0.50				
L3,2-L3	3.99		D	2	0.0542	0.00	0.00	3.40	0.50	0.00	0.07	
	3.84				0.00		0.127					
	7.84						0.016	0.57				
	0.0078							0.57				

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L3-L4	Qi (l/s) :	3.99	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.57	m
	Q (l/s) :	3.84			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	7.84			V:	3.40	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0078							H Final:	0.61	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.61	m
	Q (l/s) :	7.84			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	7.84			V:	2.17	f:	0.017	hk:	0.12	m
	Qt (m3/s) :	0.0078							H Final:	0.77	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	7.84	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.77	m
	Q (l/s) :	3.66			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	11.49			V:	3.18	f:	0.016	hk:	0.11	m
	Qt (m3/s) :	0.0115							H Final:	0.88	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S3-L5	Qi (l/s) :	3.66	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	- 0.00	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	3.66			V:	1.58	f:	0.019	hk:	0.33	m
	Qt (m3/s) :	0.0037							H Final:	0.33	m
L5-L6	Qi (l/s) :	3.66	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.33	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.284	hf:	0.08	m
	Qt (l/s) :	3.66			V:	3.22	f:	0.018	hk:	0.15	m
	Qt (m3/s) :	0.0037							H Final:	0.57	m
L6-L7	Qi (l/s) :	3.66	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.57	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.377	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	3.66			V:	1.58	f:	0.019	hk:	0.30	m
	Qt (m3/s) :	0.0037							H Final:	0.90	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	3.66	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.90	m
	Q (l/s) :	7.84			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	11.49			V:	3.18	f:	0.016	hk:	- 0.02	m
	Qt (m3/s) :	0.0115							H Final:	0.88	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L8-P2	Qi (l/s) :	3.66	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	0.88	m
	Q (l/s) :	7.84			A(m2):	0.00	k:	0.237	hf:	0.07	m
	Qt (l/s) :	11.49			V:	3.18	f:	0.016	hk:	0.12	m
	Qt (m3/s) :	0.0115							H Final:	1.07	m
P2-L9	Qi (l/s) :	3.66	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	1.96	H Inicial	1.07	m
	Q (l/s) :	7.84			A(m2):	0.00	k:	0.744	hf:	0.24	m
	Qt (l/s) :	11.49			V:	3.18	f:	0.016	hk:	0.38	m
	Qt (m3/s) :	0.0115							H Final:	1.69	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	1.4500	2.23	1.693592039	0.536407961
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1400			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

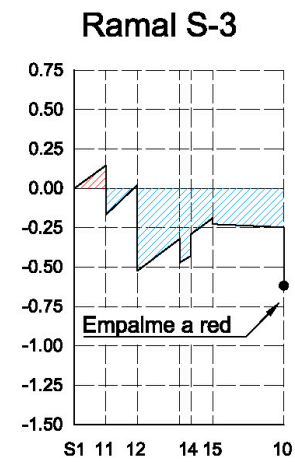
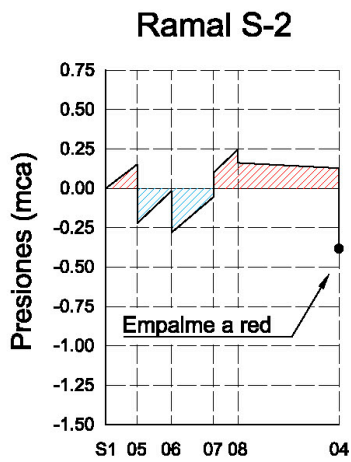
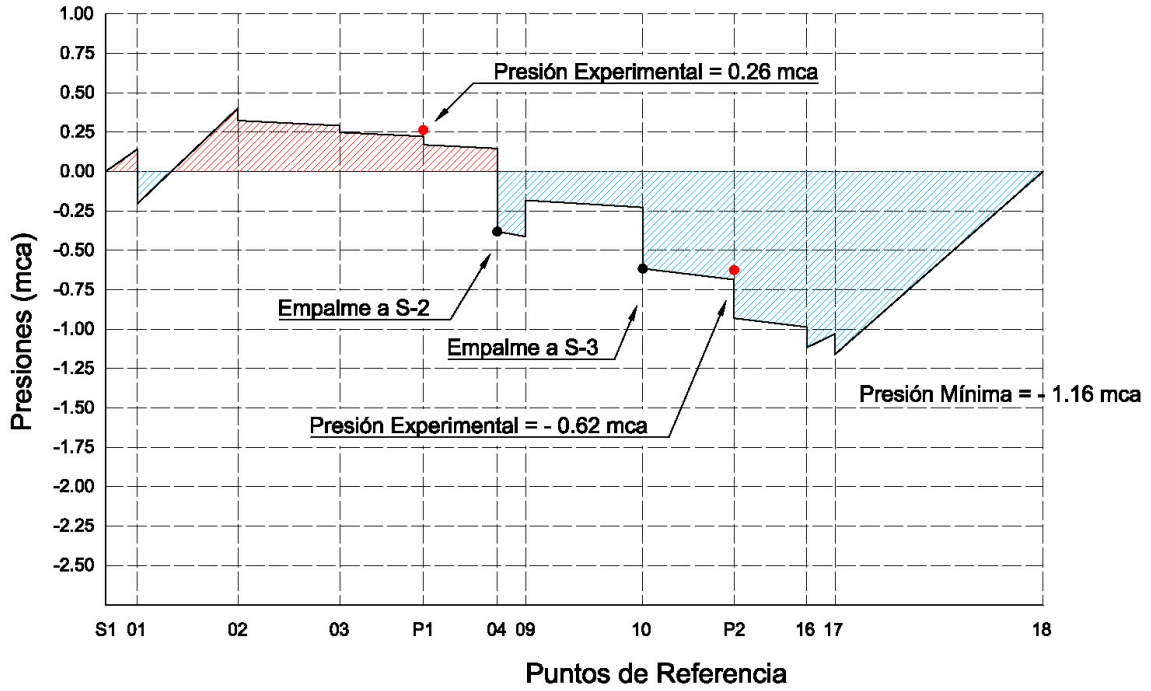
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.18	0.516408

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

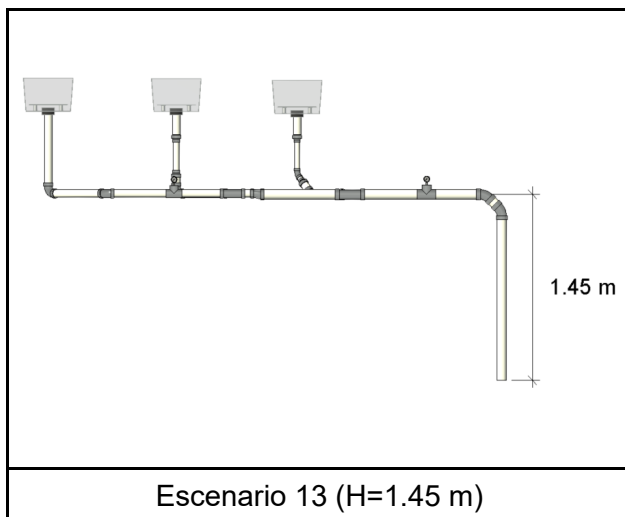
DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Puntos de Referencia



Manovacúmetro (P-01)



Escenario 13 (H=1.45 m)



Manovacúmetro (P-02)

Anexo 17

Escenario 14 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones

Tabla 01: Niveles de Contenedores

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	16.70	16.70	0.00	0.0000
2	18.70	16.70	-2.00	-0.0200
3	17.60	16.70	-0.90	-0.0090

Tabla 02: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 01)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S1-P1	3.77		D	2	0.0542	1.82	0.00			-		
	0.00				0.00	2.509	0.09					
	3.77				1.64	0.019	0.34					
	0.0038						0.43					
P1-L3,1	3.77		D	2	0.0542	0.47	0.00		0.43			
	0.00				0.00	0.189	0.02					
	3.77				1.64	0.019	0.03					
	0.0038						0.48					
L3,1-L3	3.77		D	2	0.0542	0.00	0.00		0.48			
	3.96				0.00	0.137	0.00					
	7.73				3.35	0.016	0.08					
	0.0077						0.55	m				

Tabla 03: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S2-L1	3.96		D	2	0.0542	0.22	0.00		- 0.02			
	0.00				0.00	1.750	0.01					
	3.96				1.72	0.019	0.26					
	0.0040						0.25					
L1-L2	3.96		D	1.5	0.0434	0.27	0.00		0.25			
	0.00				0.00	-	0.04					
	3.96				2.67	0.018	-					
	0.0040						0.29					
L2-L3,2	3.96		D	2	0.0542	0.80	0.00		0.29			
	0.00				0.00	0.979	0.04					
	3.96				1.72	0.019	0.15					
	0.0040						0.48					
L3,2-L3	3.96		D	2	0.0542	0.00	0.00		0.48			
	3.77				0.00	0.127	0.00					
	7.73				3.35	0.016	0.07					
	0.0077						0.55	m				

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	1.3500	2.157	1.634609713	0.522390287
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1670			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

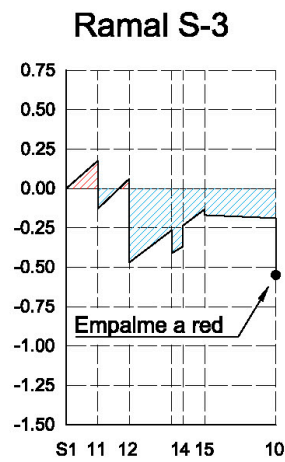
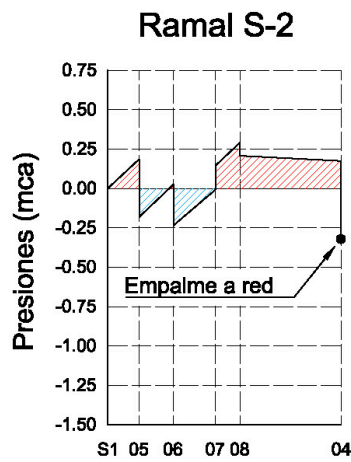
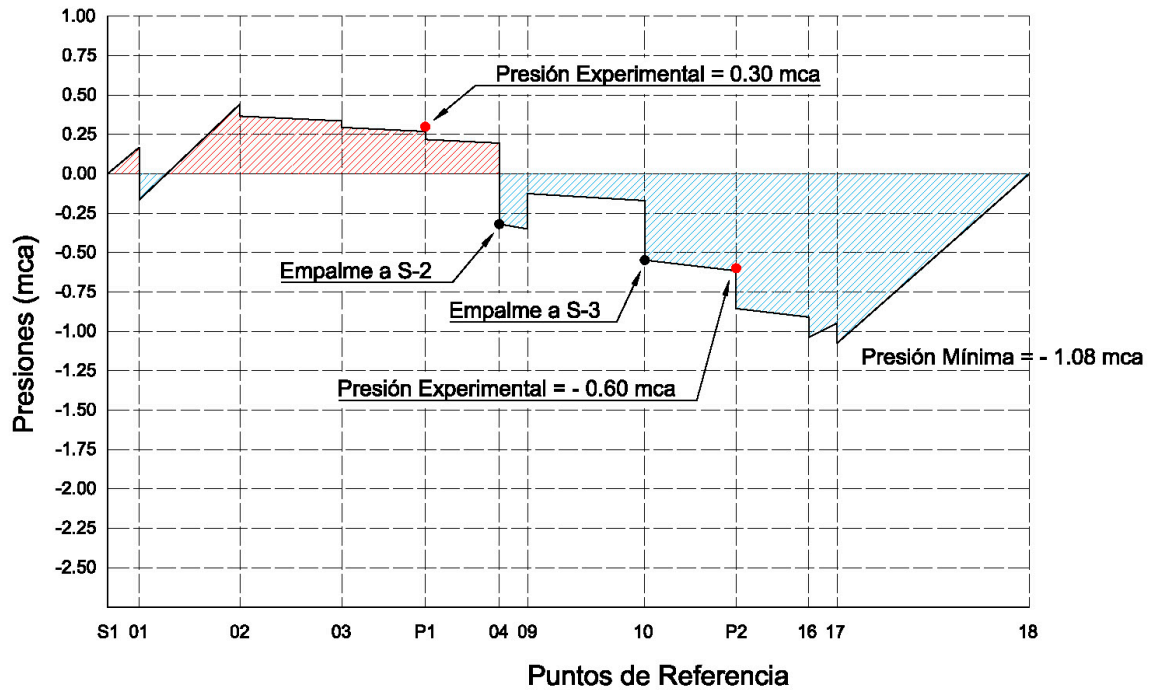
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.14	0.502390

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

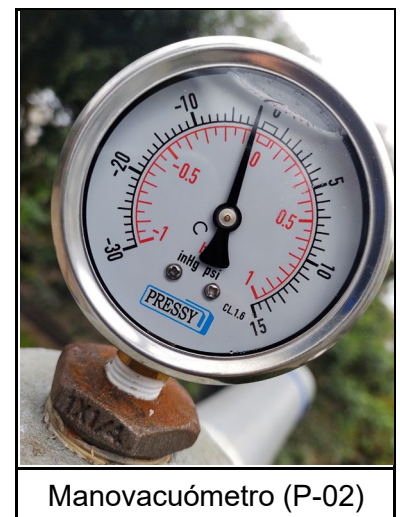
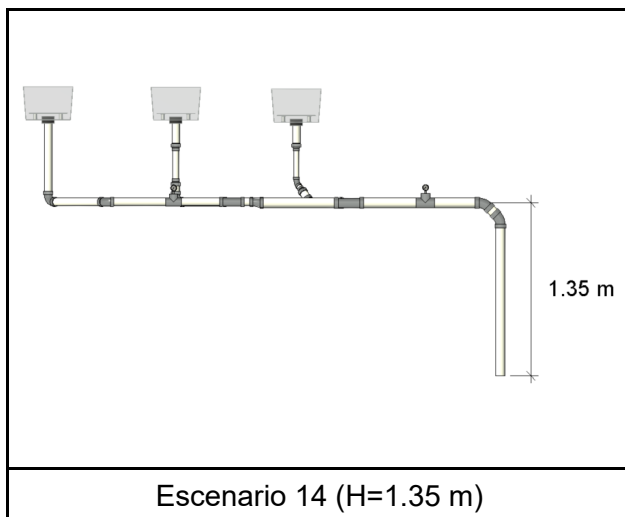
- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Puntos de Referencia



Anexo 18

Escenario 15 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones

Tabla 01: Niveles de Contenedores

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	16.00	16.00	0.00	0.0000
2	15.70	16.00	0.30	0.0030
3	13.50	16.00	2.50	0.0250

Tabla 02: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 01)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S1-P1	3.74		D	2	0.0542	1.82	0.00	1.62		-	0.08	
	0.00						k:	2.511	hf:	0.08	m	
	3.74						f:	0.019	hk:	0.34	m	
	0.0037								H Final:	0.42	m	
P1-L3,1	3.74		D	2	0.0542	0.47	0.00	1.62		0.42	0.02	
	0.00						k:	0.189	hf:	0.02	m	
	3.74						f:	0.019	hk:	0.03	m	
	0.0037								H Final:	0.47	m	
L3,1-L3	3.74		D	2	0.0542	0.00	0.00	3.28		0.47	0.00	
	3.83						k:	0.137	hf:	0.00	m	
	7.57						f:	0.016	hk:	0.08	m	
	0.0076								H Final:	0.54	m	

Tabla 03: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S2-L1	3.83		D	2	0.0542	0.22	0.00	1.66		0.00	0.01	
	0.00						k:	1.750	hf:	0.01	m	
	3.83						f:	0.019	hk:	0.25	m	
	0.0038								H Final:	0.26	m	
L1-L2	3.83		D	1.5	0.0434	0.27	0.00	2.59		0.26	0.04	
	0.00						k:	-	hf:	0.04	m	
	3.83						f:	0.018	hk:	-	m	
	0.0038								H Final:	0.30	m	
L2-L3,2	3.83		D	2	0.0542	0.80	0.00	1.66		0.30	0.04	
	0.00						k:	0.983	hf:	0.04	m	
	3.83						f:	0.019	hk:	0.14	m	
	0.0038								H Final:	0.47	m	
L3,2-L3	3.83		D	2	0.0542	0.00	0.00	3.28		0.47	0.00	
	3.74						k:	0.127	hf:	0.00	m	
	7.57						f:	0.016	hk:	0.07	m	
	0.0076								H Final:	0.54	m	

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L3-L4	Qi (l/s) :	3.83	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.54	m
	Q (l/s) :	3.74			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	7.57			V:	3.28	f:	0.016	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0076							H Final:	0.57	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.57	m
	Q (l/s) :	7.57			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	7.57			V:	2.10	f:	0.017	hk:	0.11	m
	Qt (m3/s) :	0.0076							H Final:	0.73	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	7.57	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.73	m
	Q (l/s) :	3.51			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	11.08			V:	3.07	f:	0.016	hk:	0.10	m
	Qt (m3/s) :	0.0111							H Final:	0.83	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S3-L5	Qi (l/s) :	3.51	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	0.01	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	3.51			V:	1.52	f:	0.019	hk:	0.30	m
	Qt (m3/s) :	0.0035							H Final:	0.32	m
L5-L6	Qi (l/s) :	3.51	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.32	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.287	hf:	0.08	m
	Qt (l/s) :	3.51			V:	3.10	f:	0.018	hk:	0.14	m
	Qt (m3/s) :	0.0035							H Final:	0.54	m
L6-L7	Qi (l/s) :	3.51	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.54	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.380	hf:	0.02	m
	Qt (l/s) :	3.51			V:	1.52	f:	0.019	hk:	0.28	m
	Qt (m3/s) :	0.0035							H Final:	0.85	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	3.51	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.85	m
	Q (l/s) :	7.57			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	11.08			V:	3.07	f:	0.016	hk:	- 0.02	m
	Qt (m3/s) :	0.0111							H Final:	0.83	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L8-P2	Qi (l/s) :	3.51	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	0.83	m
	Q (l/s) :	7.57			A(m2):	0.00	k:	0.239	hf:	0.07	m
	Qt (l/s) :	11.08			V:	3.07	f:	0.016	hk:	0.11	m
	Qt (m3/s) :	0.0111							H Final:	1.01	m
P2-L9	Qi (l/s) :	3.51	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	1.78	H Inicial	1.01	m
	Q (l/s) :	7.57			A(m2):	0.00	k:	0.749	hf:	0.20	m
	Qt (l/s) :	11.08			V:	3.07	f:	0.016	hk:	0.36	m
	Qt (m3/s) :	0.0111							H Final:	1.57	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	1.2500	2.05	1.570092348	0.479907652
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1600			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

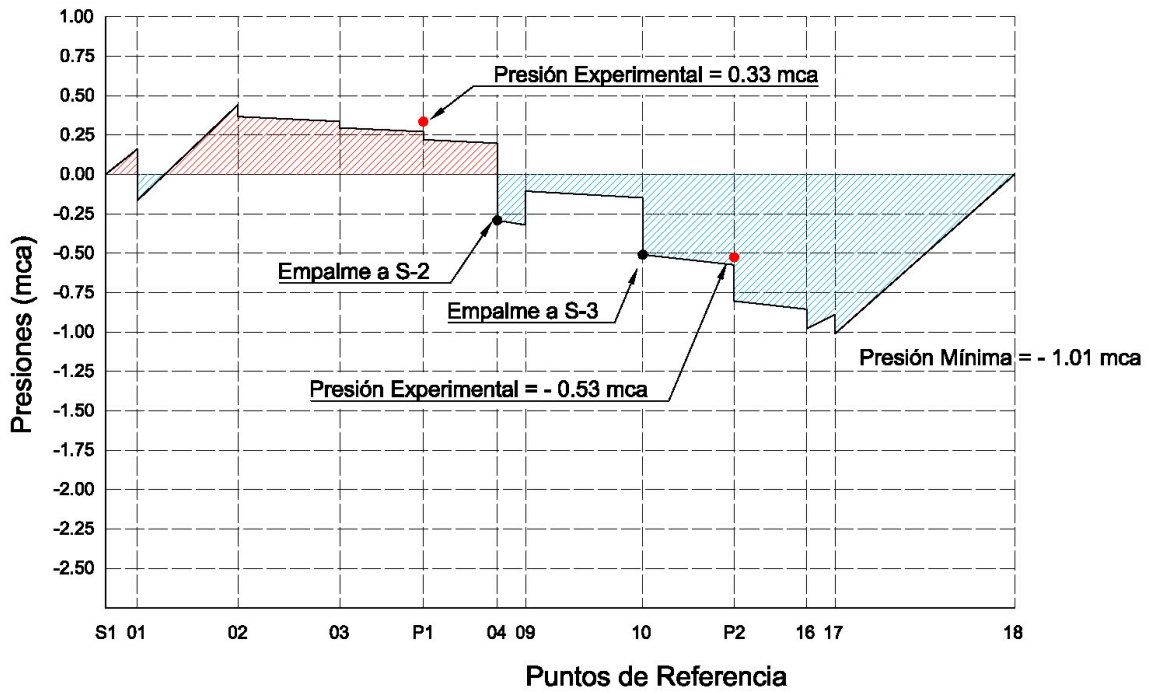
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.07	0.479908

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

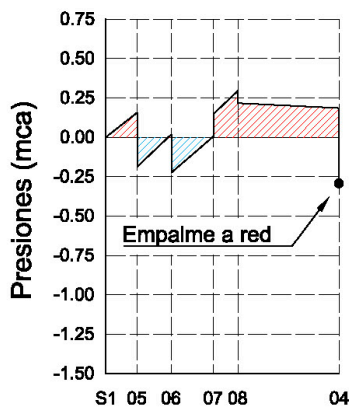
- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

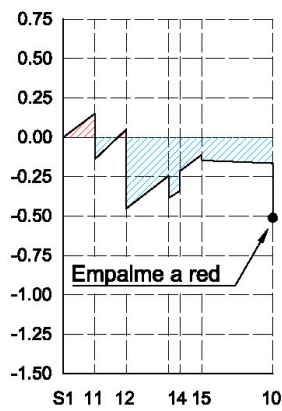
DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Ramal S-2



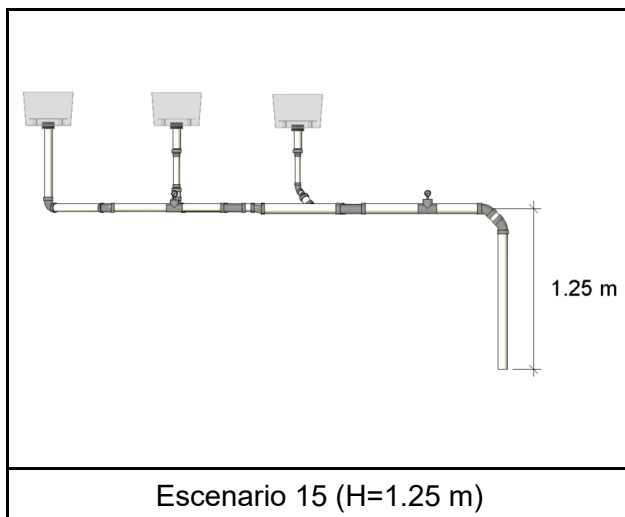
Ramal S-3



Puntos de Referencia



Manovacúmetro (P-01)



Manovacúmetro (P-02)

Anexo 19

Escenario 16 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones

Tabla 01: Niveles de Contenedores

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	17.00	17.00	0.00	0.0000
2	18.50	17.00	-1.50	-0.0150
3	17.50	17.00	-0.50	-0.0050

Tabla 02: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 01)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S1-P1	3.63		D	2	0.0542	1.82	0.00	1.57		-	0.08	
	0.00				0.00	2.517		0.32				
	3.63				1.57	0.019		0.40				
	0.0036							0.40				
P1-L3,1	3.63		D	2	0.0542	0.47	0.00	1.57	0.40	0.02	0.02	
	0.00				0.00	0.191		0.02				
	3.63				1.57	0.019		0.02				
	0.0036							0.44				
L3,1-L3	3.63		D	2	0.0542	0.00	0.00	3.22	0.44	0.00	0.07	
	3.79				0.00	0.137		0.00				
	7.42				3.22	0.017		0.07				
	0.0074							0.51	m			

Tabla 03: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S2-L1	3.79		D	2	0.0542	0.22	0.00	1.64		- 0.02	0.01	
	0.00				0.00	1.750		0.24				
	3.79				1.64	0.019		0.24				
	0.0038							0.24				
L1-L2	3.79		D	1.5	0.0434	0.27	0.00	2.57	0.24	0.04	-	
	0.00				0.00	-		0.04				
	3.79				2.57	0.018		-				
	0.0038							0.27				
L2-L3,2	3.79		D	2	0.0542	0.80	0.00	1.64	0.27	0.04	0.14	
	0.00				0.00	0.984		0.04				
	3.79				1.64	0.019		0.14				
	0.0038							0.45				
L3,2-L3	3.79		D	2	0.0542	0.00	0.00	3.22	0.45	0.00	0.07	
	3.63				0.00	0.127		0.00				
	7.42				3.22	0.017		0.07				
	0.0074							0.51	m			

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	H Inicial	hf:	hk:	H Final:	
L3-L4	Qi (l/s) :	3.79	D	2	0.0542	0.18	0.51	0.03	-	0.54	
	Q (l/s) :	3.63			A(m2):	k:	0.00	-	0.03	m	
	Qt (l/s) :	7.42			V:	f:	3.22	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0074							H Final:	0.54	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	0.0678	0.74	0.54	0.04	0.11	0.69	
	Q (l/s) :	7.42			A(m2):	k:	0.00	0.490	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	7.42			V:	f:	2.06	0.017	hk:	0.11	m
	Qt (m3/s) :	0.0074							H Final:	0.69	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	7.42	D	2.5	0.0678	0.00	0.69	0.00	0.10	0.79	
	Q (l/s) :	3.46			A(m2):	k:	0.00	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	10.88			V:	f:	3.01	0.016	hk:	0.10	m
	Qt (m3/s) :	0.0109							H Final:	0.79	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	H Inicial	hf:	hk:	H Final:	
S3-L5	Qi (l/s) :	3.46	D	2	0.0542	0.20	- 0.01	0.01	0.30	0.30	
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	k:	0.00	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	3.46			V:	f:	1.50	0.019	hk:	0.30	m
	Qt (m3/s) :	0.0035							H Final:	0.30	m
L5-L6	Qi (l/s) :	3.46	D	1.25	0.038	0.34	0.30	0.08	0.14	0.51	
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	k:	0.00	0.287	hf:	0.08	m
	Qt (l/s) :	3.46			V:	f:	3.05	0.018	hk:	0.14	m
	Qt (m3/s) :	0.0035							H Final:	0.51	m
L6-L7	Qi (l/s) :	3.46	D	2	0.0542	0.59	0.51	0.02	0.27	0.81	
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	k:	0.00	2.381	hf:	0.02	m
	Qt (l/s) :	3.46			V:	f:	1.50	0.019	hk:	0.27	m
	Qt (m3/s) :	0.0035							H Final:	0.81	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	3.46	D	2.5	0.0678	0.00	0.81	- 0.036	0.00	0.79	
	Q (l/s) :	7.42			A(m2):	k:	0.00	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	10.88			V:	f:	3.01	0.016	hk:	- 0.02	m
	Qt (m3/s) :	0.0109							H Final:	0.79	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	H Inicial	hf:	hk:	H Final:	
L8-P2	Qi (l/s) :	3.46	D	2.5	0.0678	0.58	0.79	0.06	0.11	0.97	
	Q (l/s) :	7.42			A(m2):	k:	0.00	0.240	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	10.88			V:	f:	3.01	0.016	hk:	0.11	m
	Qt (m3/s) :	0.0109							H Final:	0.97	m
P2-L9	Qi (l/s) :	3.46	D	2.5	0.0678	1.68	0.97	0.18	0.35	1.50	
	Q (l/s) :	7.42			A(m2):	k:	0.00	0.752	hf:	0.18	m
	Qt (l/s) :	10.88			V:	f:	3.01	0.016	hk:	0.35	m
	Qt (m3/s) :	0.0109							H Final:	1.50	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	1.1500	1.96	1.496940826	0.463059174
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1700			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

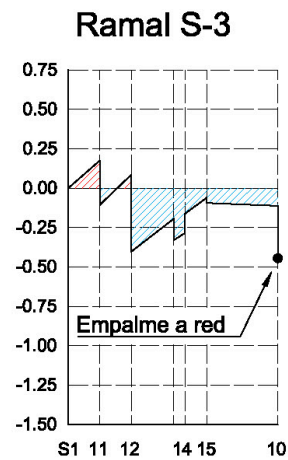
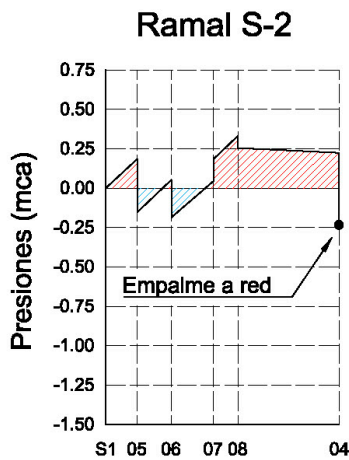
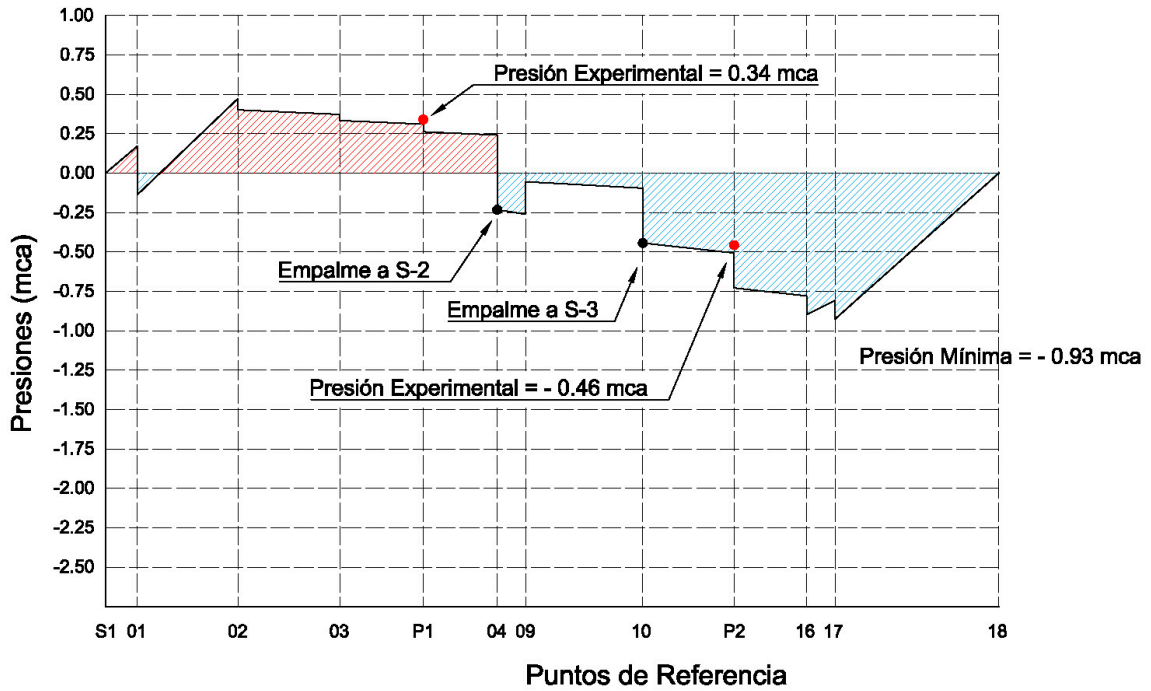
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
3.01	0.463059

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

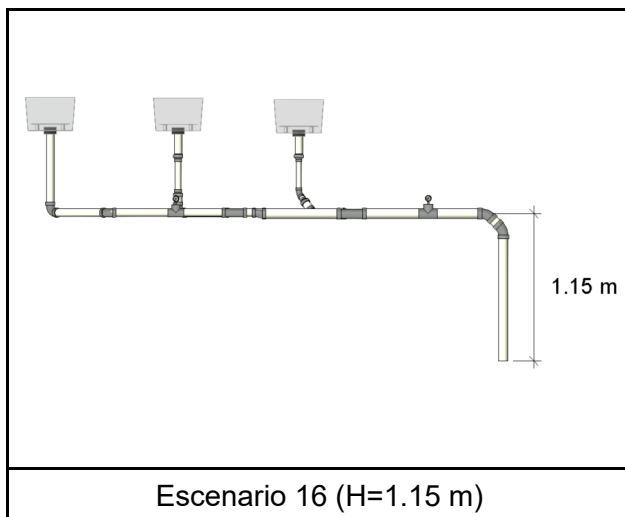
DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Puntos de Referencia



Manovacúmetro (P-01)



Escenario 16 (H=1.15 m)



Manovacúmetro (P-02)

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L3-L4	Qi (l/s) :	3.72	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.50	m
	Q (l/s) :	3.56			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	7.28			V:	3.15	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0073							H Final:	0.52	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.52	m
	Q (l/s) :	7.28			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	7.28			V:	2.02	f:	0.017	hk:	0.10	m
	Qt (m3/s) :	0.0073							H Final:	0.67	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	7.28	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.67	m
	Q (l/s) :	3.34			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	10.62			V:	2.94	f:	0.016	hk:	0.10	m
	Qt (m3/s) :	0.0106							H Final:	0.76	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S3-L5	Qi (l/s) :	3.34	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	0.02	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	3.34			V:	1.45	f:	0.019	hk:	0.28	m
	Qt (m3/s) :	0.0033							H Final:	0.30	m
L5-L6	Qi (l/s) :	3.34	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.30	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.289	hf:	0.07	m
	Qt (l/s) :	3.34			V:	2.95	f:	0.018	hk:	0.13	m
	Qt (m3/s) :	0.0033							H Final:	0.50	m
L6-L7	Qi (l/s) :	3.34	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.50	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.383	hf:	0.02	m
	Qt (l/s) :	3.34			V:	1.45	f:	0.019	hk:	0.25	m
	Qt (m3/s) :	0.0033							H Final:	0.78	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	3.34	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.78	m
	Q (l/s) :	7.28			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	10.62			V:	2.94	f:	0.016	hk:	- 0.02	m
	Qt (m3/s) :	0.0106							H Final:	0.76	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L8-P2	Qi (l/s) :	3.34	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	0.76	m
	Q (l/s) :	7.28			A(m2):	0.00	k:	0.241	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	10.62			V:	2.94	f:	0.016	hk:	0.11	m
	Qt (m3/s) :	0.0106							H Final:	0.93	m
P2-L9	Qi (l/s) :	3.34	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	1.58	H Inicial	0.93	m
	Q (l/s) :	7.28			A(m2):	0.00	k:	0.755	hf:	0.17	m
	Qt (l/s) :	10.62			V:	2.94	f:	0.016	hk:	0.33	m
	Qt (m3/s) :	0.0106							H Final:	1.43	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	1.0500	1.867	1.426067137	0.440932863
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1770			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

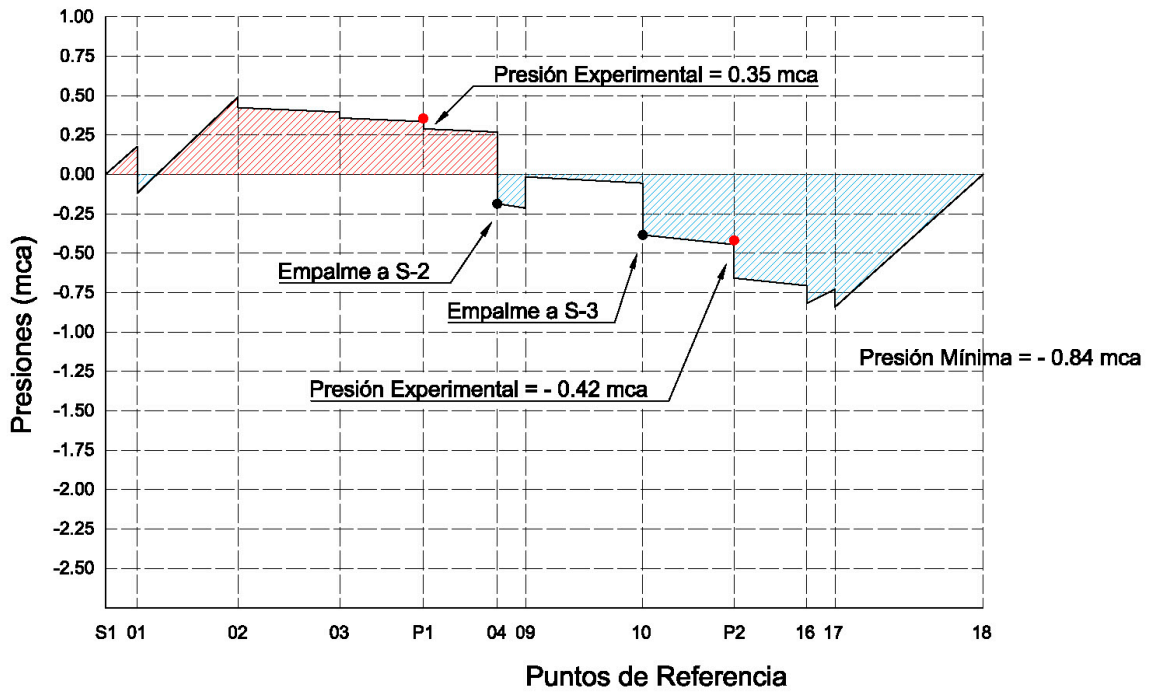
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
2.94	0.440933

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

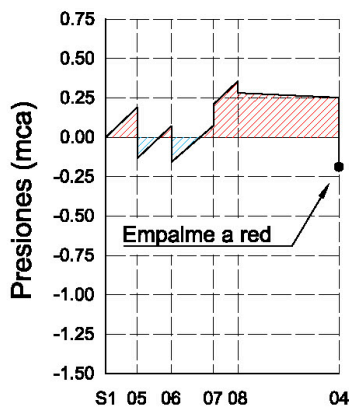
- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

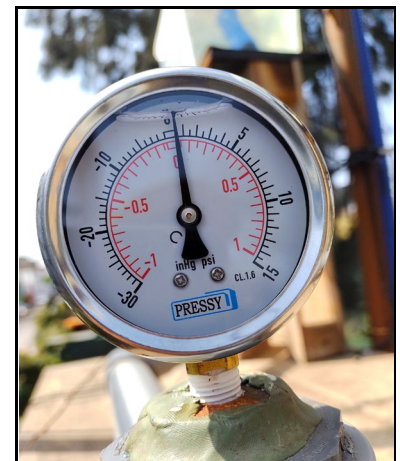
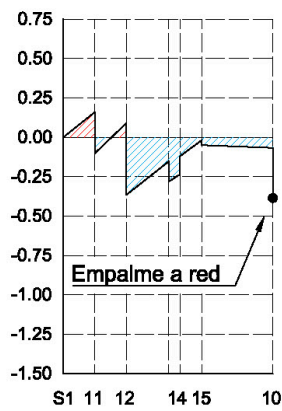
DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



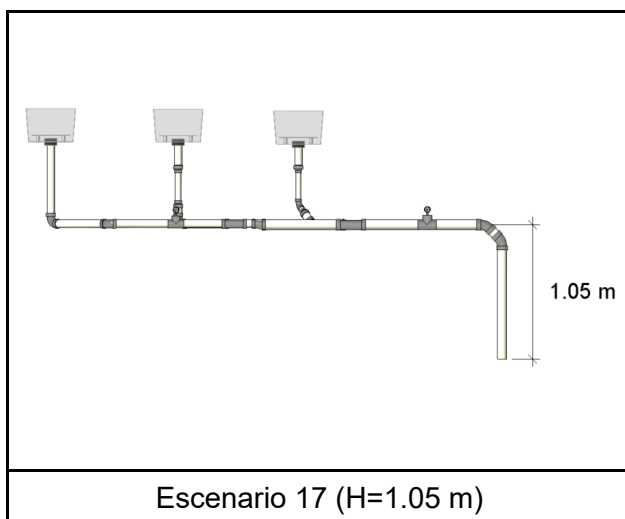
Ramal S-2



Ramal S-3



Manovacúmetro (P-01)



Manovacúmetro (P-02)

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L3-L4	Qi (l/s) :	3.66	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.47	m
	Q (l/s) :	3.45			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	7.11			V:	3.08	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0071							H Final:	0.49	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.49	m
	Q (l/s) :	7.11			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	7.11			V:	1.97	f:	0.017	hk:	0.10	m
	Qt (m3/s) :	0.0071							H Final:	0.63	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	7.11	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.63	m
	Q (l/s) :	3.25			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	10.36			V:	2.87	f:	0.016	hk:	0.09	m
	Qt (m3/s) :	0.0104							H Final:	0.72	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S3-L5	Qi (l/s) :	3.25	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	0.01	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	3.25			V:	1.41	f:	0.019	hk:	0.26	m
	Qt (m3/s) :	0.0033							H Final:	0.28	m
L5-L6	Qi (l/s) :	3.25	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.28	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.291	hf:	0.07	m
	Qt (l/s) :	3.25			V:	2.87	f:	0.018	hk:	0.12	m
	Qt (m3/s) :	0.0033							H Final:	0.47	m
L6-L7	Qi (l/s) :	3.25	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.47	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.385	hf:	0.02	m
	Qt (l/s) :	3.25			V:	1.41	f:	0.019	hk:	0.24	m
	Qt (m3/s) :	0.0033							H Final:	0.74	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	3.25	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.74	m
	Q (l/s) :	7.11			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	10.36			V:	2.87	f:	0.016	hk:	- 0.02	m
	Qt (m3/s) :	0.0104							H Final:	0.72	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L8-P2	Qi (l/s) :	3.25	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	0.72	m
	Q (l/s) :	7.11			A(m2):	0.00	k:	0.242	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	10.36			V:	2.87	f:	0.016	hk:	0.10	m
	Qt (m3/s) :	0.0104							H Final:	0.88	m
P2-L9	Qi (l/s) :	3.25	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	1.48	H Inicial	0.88	m
	Q (l/s) :	7.11			A(m2):	0.00	k:	0.759	hf:	0.15	m
	Qt (l/s) :	10.36			V:	2.87	f:	0.016	hk:	0.32	m
	Qt (m3/s) :	0.0104							H Final:	1.35	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	0.9500	1.767	1.347036088	0.419963912
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1770			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

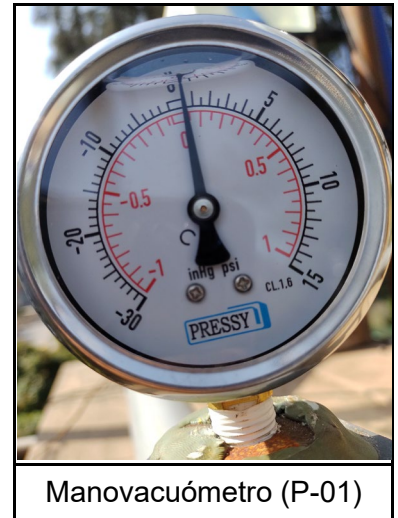
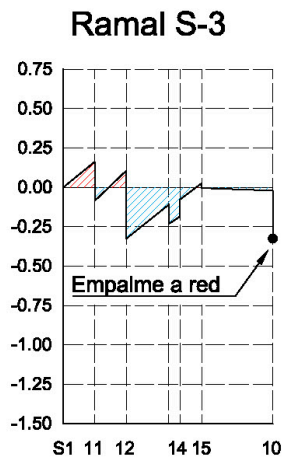
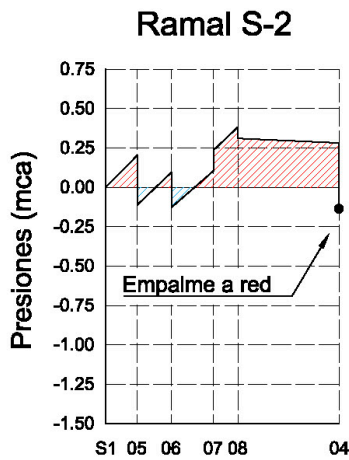
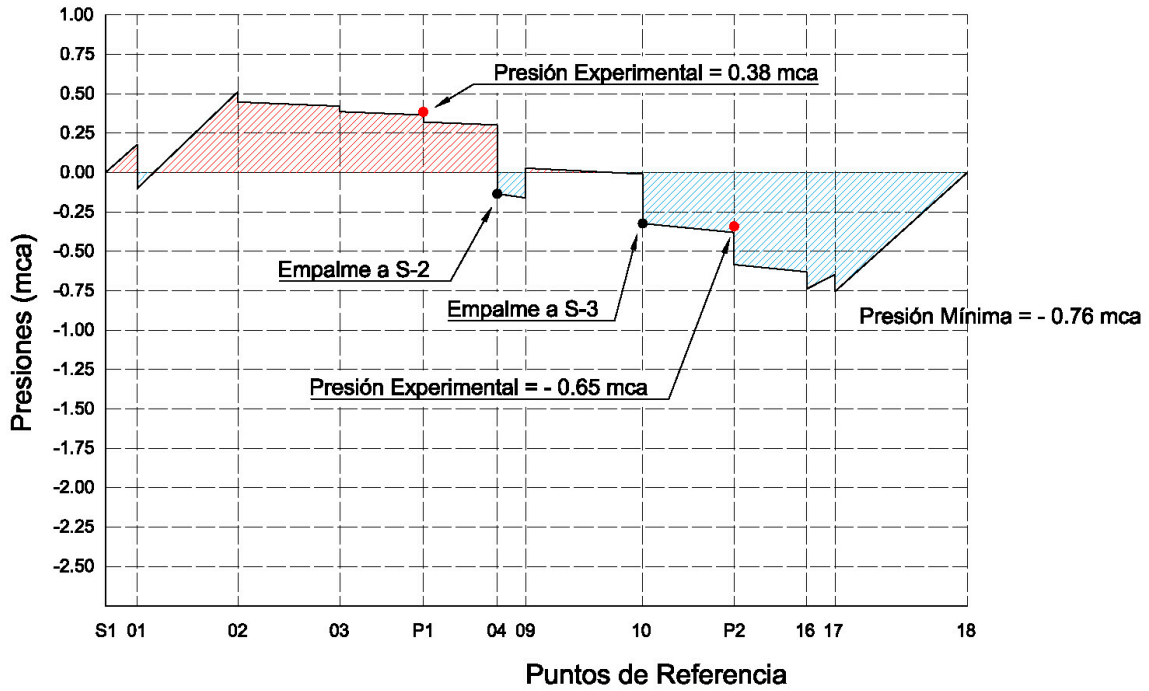
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
2.87	0.419963

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

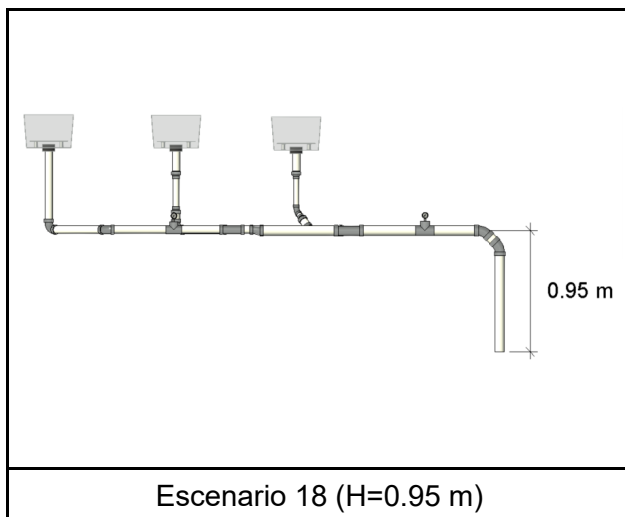
- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Manovacúmetro (P-01)



Escenario 18 (H=0.95 m)



Manovacúmetro (P-02)

Anexo 22

Escenario 19 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones

Tabla 01: Niveles de Contenedores

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	18.40	18.40	0.00	0.0000
2	17.00	18.40	1.40	0.0140
3	16.70	18.40	1.70	0.0170

Tabla 02: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 01)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S1-P1	3.42	0.0034	D	2	0.0542	1.82	0.00	1.48	0.00	0.07	0.28	0.36
	0.00				0.0542	0.47	0.00	0.019	0.36	0.02	0.02	
	3.42				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.00	0.00	0.06	
	0.0034				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.40	0.46		
P1-L3,1	3.42	0.0034	D	2	0.0542	0.47	0.00	1.48	0.00	0.02	0.02	0.40
	0.00				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.00	0.00		
	3.42				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.40	0.46		
	0.0034				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.40	0.46		
L3,1-L3	3.42	0.0069	D	2	0.0542	0.00	0.00	2.98	0.00	0.00	0.06	0.46
	3.45				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.00	0.00		
	6.87				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.40	0.46		
	0.0069				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.40	0.46		

Tabla 03: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S2-L1	3.45	0.0035	D	2	0.0542	0.22	0.00	1.50	0.00	0.01	0.20	0.22
	0.00				0.0542	0.22	0.00	0.019	0.01	0.03		
	3.45				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.00	0.00		
	0.0035				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.40	0.46		
L1-L2	3.45	0.0035	D	1.5	0.0434	0.27	0.00	2.34	0.00	0.03	-	0.25
	0.00				0.0434	0.27	0.00	0.018	0.03	0.03		
	3.45				0.0434	0.00	0.00	0.137	0.00	0.00		
	0.0035				0.0434	0.00	0.00	0.017	0.40	0.46		
L2-L3,2	3.45	0.0035	D	2	0.0542	0.80	0.00	1.50	0.00	0.03	0.11	0.40
	0.00				0.0542	0.80	0.00	0.019	0.03	0.03		
	3.45				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.00	0.00		
	0.0035				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.40	0.46		
L3,2-L3	3.45	0.0069	D	2	0.0542	0.00	0.00	2.98	0.00	0.00	0.06	0.46
	3.42				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.00	0.00		
	6.87				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.40	0.46		
	0.0069				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.40	0.46		

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L3-L4	Qi (l/s) :	3.45	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.46	m
	Q (l/s) :	3.42			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	6.87			V:	2.98	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0069							H Final:	0.48	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.48	m
	Q (l/s) :	6.87			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	6.87			V:	1.90	f:	0.017	hk:	0.09	m
	Qt (m3/s) :	0.0069							H Final:	0.61	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	6.87	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.61	m
	Q (l/s) :	3.18			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	10.06			V:	2.79	f:	0.016	hk:	0.09	m
	Qt (m3/s) :	0.0101							H Final:	0.69	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S3-L5	Qi (l/s) :	3.18	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	0.02	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	3.18			V:	1.38	f:	0.020	hk:	0.25	m
	Qt (m3/s) :	0.0032							H Final:	0.27	m
L5-L6	Qi (l/s) :	3.18	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.27	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.292	hf:	0.07	m
	Qt (l/s) :	3.18			V:	2.81	f:	0.018	hk:	0.12	m
	Qt (m3/s) :	0.0032							H Final:	0.46	m
L6-L7	Qi (l/s) :	3.18	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.46	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.386	hf:	0.02	m
	Qt (l/s) :	3.18			V:	1.38	f:	0.020	hk:	0.23	m
	Qt (m3/s) :	0.0032							H Final:	0.71	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	3.18	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.71	m
	Q (l/s) :	6.87			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	10.06			V:	2.79	f:	0.016	hk:	- 0.01	m
	Qt (m3/s) :	0.0101							H Final:	0.69	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L8-P2	Qi (l/s) :	3.18	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	0.69	m
	Q (l/s) :	6.87			A(m2):	0.00	k:	0.244	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	10.06			V:	2.79	f:	0.016	hk:	0.10	m
	Qt (m3/s) :	0.0101							H Final:	0.85	m
P2-L9	Qi (l/s) :	3.18	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	1.38	H Inicial	0.85	m
	Q (l/s) :	6.87			A(m2):	0.00	k:	0.763	hf:	0.13	m
	Qt (l/s) :	10.06			V:	2.79	f:	0.016	hk:	0.30	m
	Qt (m3/s) :	0.0101							H Final:	1.28	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	0.8500	1.674	1.278541049	0.395458951
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1840			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

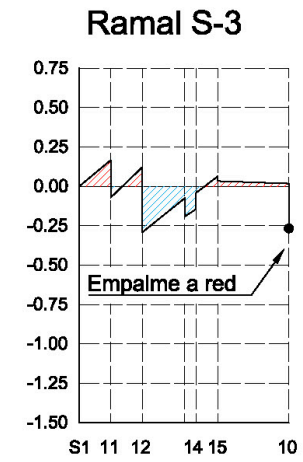
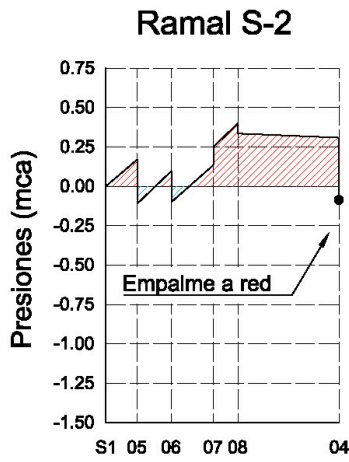
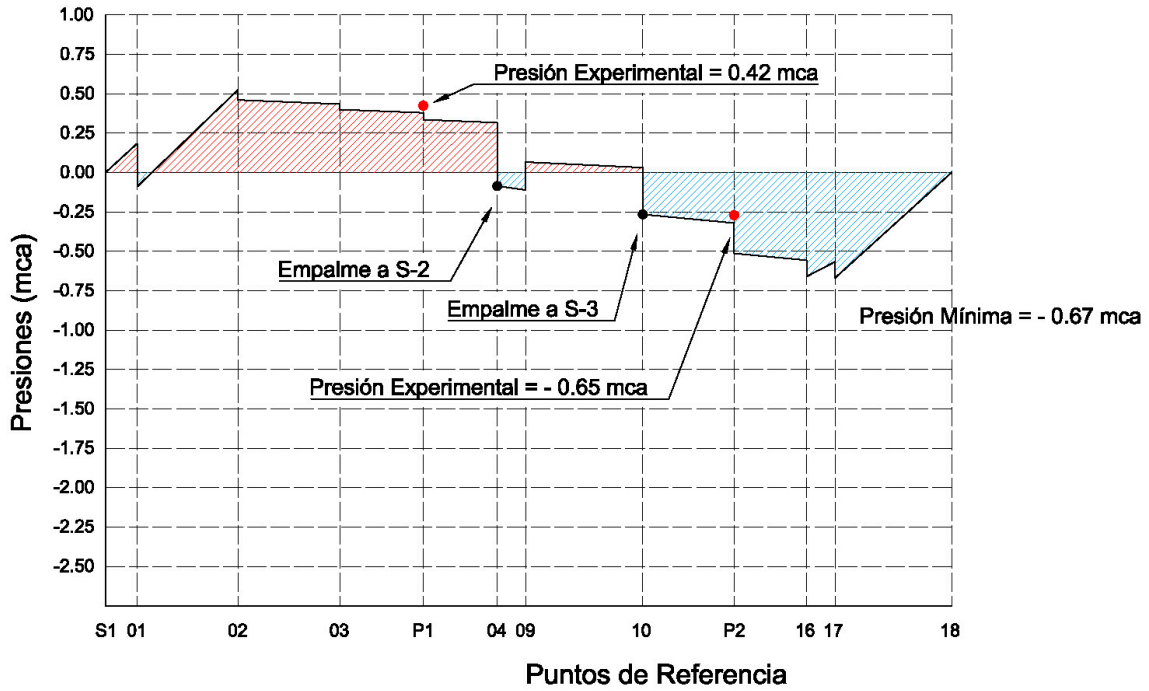
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
2.79	0.395459

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

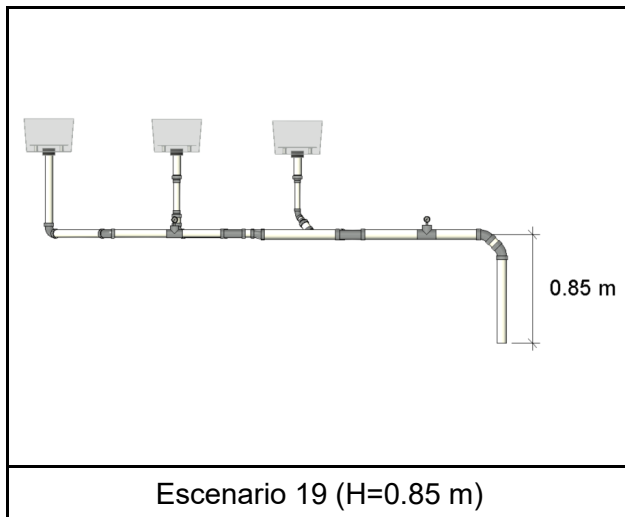
DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Puntos de Referencia



Manovacúmetro (P-01)



Escenario 19 (H=0.85 m)



Manovacúmetro (P-02)

Anexo 23

Escenario 20 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones

Tabla 01: Niveles de Contenedores

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	18.40	18.40	0.00	0.0000
2	17.20	18.40	1.20	0.0120
3	18.30	18.40	0.10	0.0010

Tabla 02: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 01)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S1-P1	3.31		D	2	0.0542	1.82	0.00			-		
	0.00				0.00		2.538	0.07				
	3.31				1.43		0.019	0.27				
	0.0033							0.33				
P1-L3,1	3.31		D	2	0.0542	0.47	0.00		0.33			
	0.00				0.00		0.194	0.02				
	3.31				1.43		0.019	0.02				
	0.0033							0.37				
L3,1-L3	3.31		D	2	0.0542	0.00	0.00		0.37			
	3.35				0.00		0.137	0.00				
	6.66				2.89		0.017	0.06				
	0.0067							0.43		m		

Tabla 03: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S2-L1	3.35		D	2	0.0542	0.22	0.00		0.01			
	0.00				0.00		1.750	0.01				
	3.35				1.45		0.019	0.19				
	0.0034							0.21				
L1-L2	3.35		D	1.5	0.0434	0.27	0.00		0.21			
	0.00				0.00		-	0.03				
	3.35				2.27		0.019	-				
	0.0034							0.24				
L2-L3,2	3.35		D	2	0.0542	0.80	0.00		0.24			
	0.00				0.00		0.999	0.03				
	3.35				1.45		0.019	0.11				
	0.0034							0.38				
L3,2-L3	3.35		D	2	0.0542	0.00	0.00		0.38			
	3.31				0.00		0.127	0.00				
	6.66				2.89		0.017	0.05				
	0.0067							0.43		m		

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L3-L4	Qi (l/s) :	3.35	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.43	m
	Q (l/s) :	3.31			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.02	m
	Qt (l/s) :	6.66			V:	2.89	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0067							H Final:	0.45	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.45	m
	Q (l/s) :	6.66			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	6.66			V:	1.84	f:	0.018	hk:	0.08	m
	Qt (m3/s) :	0.0067							H Final:	0.57	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	6.66	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.57	m
	Q (l/s) :	3.12			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	9.78			V:	2.71	f:	0.016	hk:	0.08	m
	Qt (m3/s) :	0.0098							H Final:	0.65	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S3-L5	Qi (l/s) :	3.12	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	0.00	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	3.12			V:	1.35	f:	0.020	hk:	0.24	m
	Qt (m3/s) :	0.0031							H Final:	0.25	m
L5-L6	Qi (l/s) :	3.12	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.25	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.293	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	3.12			V:	2.75	f:	0.018	hk:	0.11	m
	Qt (m3/s) :	0.0031							H Final:	0.42	m
L6-L7	Qi (l/s) :	3.12	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.42	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.388	hf:	0.02	m
	Qt (l/s) :	3.12			V:	1.35	f:	0.020	hk:	0.22	m
	Qt (m3/s) :	0.0031							H Final:	0.67	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	3.12	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.67	m
	Q (l/s) :	6.66			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	9.78			V:	2.71	f:	0.016	hk:	- 0.01	m
	Qt (m3/s) :	0.0098							H Final:	0.65	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L8-P2	Qi (l/s) :	3.12	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	0.65	m
	Q (l/s) :	6.66			A(m2):	0.00	k:	0.245	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	9.78			V:	2.71	f:	0.016	hk:	0.09	m
	Qt (m3/s) :	0.0098							H Final:	0.80	m
P2-L9	Qi (l/s) :	3.12	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	1.28	H Inicial	0.80	m
	Q (l/s) :	6.66			A(m2):	0.00	k:	0.767	hf:	0.12	m
	Qt (l/s) :	9.78			V:	2.71	f:	0.016	hk:	0.29	m
	Qt (m3/s) :	0.0098							H Final:	1.20	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	0.7500	1.574	1.199921164	0.374078836
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1840			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

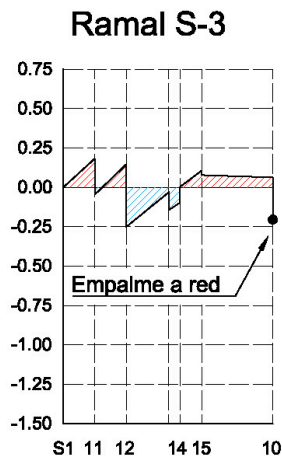
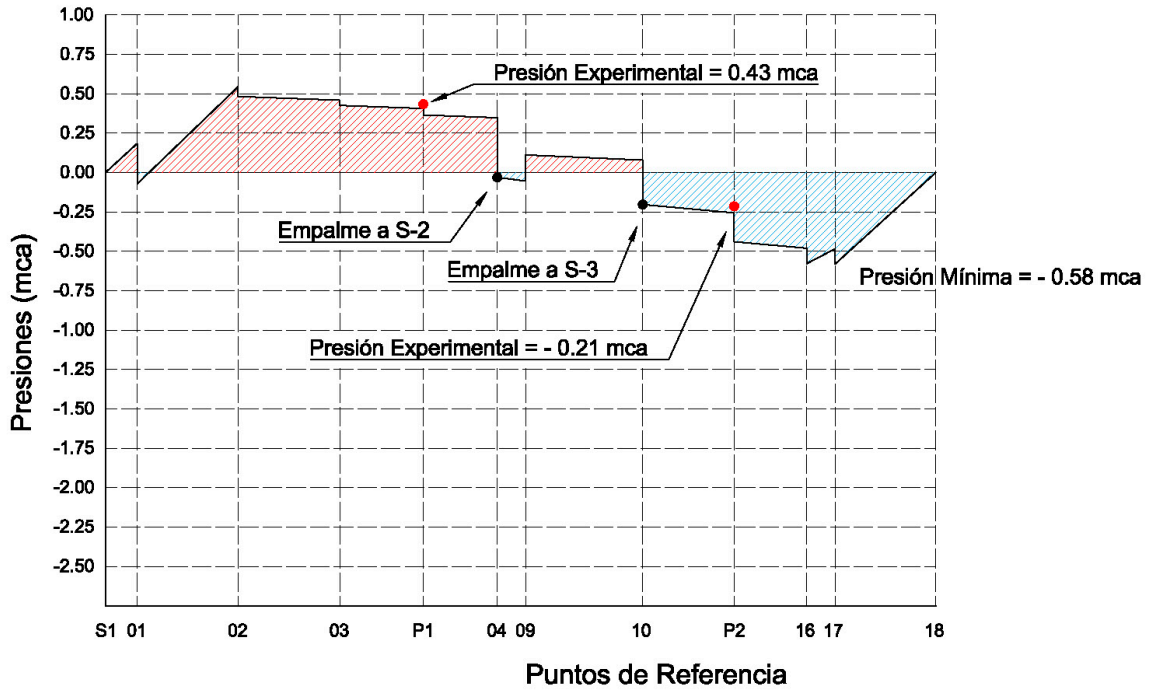
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
2.71	0.374079

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

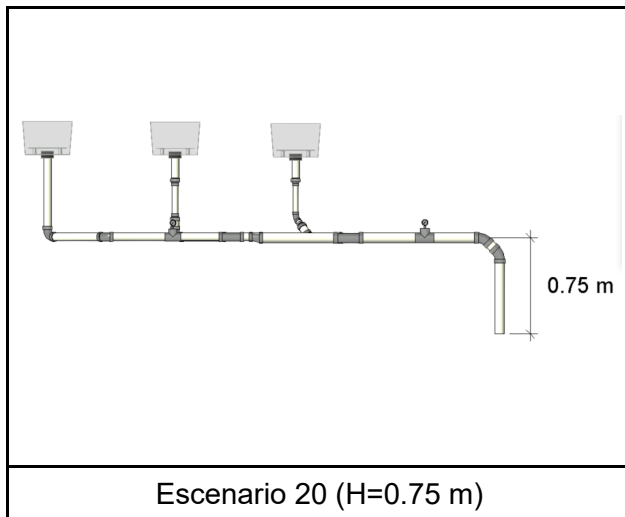
DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



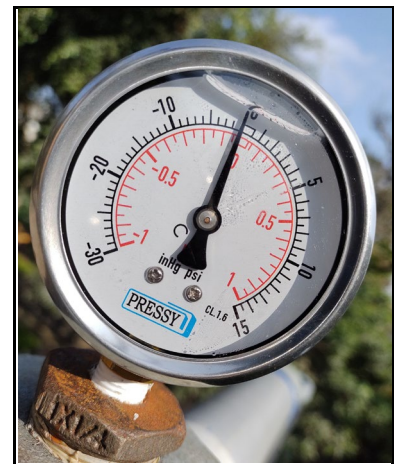
Puntos de Referencia



Manovacúmetro (P-01)



Escenario 20 (H=0.75 m)



Manovacúmetro (P-02)

Anexo 24

Escenario 21 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones

Tabla 01: Niveles de Contenedores

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	22.00	22.00	0.00	0.0000
2	20.50	22.00	1.50	0.0150
3	16.00	22.00	6.00	0.0600

Tabla 02: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 01)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S1-P1	3.28	0.0033	D	2	0.0542	1.82	0.00	1.42	0.00	0.07	0.26	0.33
	0.00				0.0542	0.47	0.00	0.195	0.02	0.02	0.37	
	3.28				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.00	0.06	0.42	
	0.0033				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.00	0.06	0.42	
P1-L3,1	3.28	0.0033	D	2	0.0542	0.47	0.00	1.42	0.33	0.02	0.02	0.37
	0.00				0.0542	0.47	0.00	0.195	0.02	0.02	0.37	
	3.28				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.00	0.06	0.42	
	0.0033				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.00	0.06	0.42	
L3,1-L3	3.28	0.0033	D	2	0.0542	0.00	0.00	2.86	0.37	0.00	0.06	0.42
	3.31				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.00	0.06	0.42	
	6.60				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.00	0.06	0.42	
	0.0066				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.00	0.06	0.42	

Tabla 03: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S2-L1	3.31	0.0033	D	2	0.0542	0.22	0.00	1.44	0.01	0.01	0.18	0.21
	0.00				0.0542	0.22	0.00	1.750	0.01	0.01	0.21	
	3.31				0.0542	0.22	0.00	1.750	0.01	0.01	0.21	
	0.0033				0.0542	0.22	0.00	1.750	0.01	0.01	0.21	
L1-L2	3.31	0.0033	D	1.5	0.0434	0.27	0.00	2.24	0.21	0.03	-	0.24
	0.00				0.0434	0.27	0.00	-	0.03	0.03	0.24	
	3.31				0.0434	0.27	0.00	-	0.03	0.03	0.24	
	0.0033				0.0434	0.27	0.00	-	0.03	0.03	0.24	
L2-L3,2	3.31	0.0033	D	2	0.0542	0.80	0.00	1.44	0.24	0.03	0.11	0.37
	0.00				0.0542	0.80	0.00	1.000	0.03	0.03	0.37	
	3.31				0.0542	0.80	0.00	1.000	0.03	0.03	0.37	
	0.0033				0.0542	0.80	0.00	1.000	0.03	0.03	0.37	
L3,2-L3	3.31	0.0033	D	2	0.0542	0.00	0.00	2.86	0.37	0.00	0.05	0.42
	3.28				0.0542	0.00	0.00	0.127	0.00	0.00	0.42	
	6.60				0.0542	0.00	0.00	0.127	0.00	0.00	0.42	
	0.0066				0.0542	0.00	0.00	0.127	0.00	0.00	0.42	

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L3-L4	Qi (l/s) :	3.31	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.42	m
	Q (l/s) :	3.28			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.02	m
	Qt (l/s) :	6.60			V:	2.86	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0066							H Final:	0.45	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.45	m
	Q (l/s) :	6.60			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	6.60			V:	1.83	f:	0.018	hk:	0.08	m
	Qt (m3/s) :	0.0066							H Final:	0.56	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	6.60	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.56	m
	Q (l/s) :	2.94			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	9.54			V:	2.64	f:	0.016	hk:	0.08	m
	Qt (m3/s) :	0.0095							H Final:	0.64	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S3-L5	Qi (l/s) :	2.94	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	0.06	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	2.94			V:	1.27	f:	0.020	hk:	0.21	m
	Qt (m3/s) :	0.0029							H Final:	0.28	m
L5-L6	Qi (l/s) :	2.94	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.28	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.297	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	2.94			V:	2.59	f:	0.019	hk:	0.10	m
	Qt (m3/s) :	0.0029							H Final:	0.44	m
L6-L7	Qi (l/s) :	2.94	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.44	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.392	hf:	0.02	m
	Qt (l/s) :	2.94			V:	1.27	f:	0.020	hk:	0.20	m
	Qt (m3/s) :	0.0029							H Final:	0.65	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	2.94	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.65	m
	Q (l/s) :	6.60			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	9.54			V:	2.64	f:	0.016	hk:	- 0.01	m
	Qt (m3/s) :	0.0095							H Final:	0.64	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L8-P2	Qi (l/s) :	2.94	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	0.64	m
	Q (l/s) :	6.60			A(m2):	0.00	k:	0.246	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	9.54			V:	2.64	f:	0.016	hk:	0.09	m
	Qt (m3/s) :	0.0095							H Final:	0.78	m
P2-L9	Qi (l/s) :	2.94	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	1.18	H Inicial	0.78	m
	Q (l/s) :	6.60			A(m2):	0.00	k:	0.771	hf:	0.10	m
	Qt (l/s) :	9.54			V:	2.64	f:	0.016	hk:	0.27	m
	Qt (m3/s) :	0.0095							H Final:	1.15	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	0.6500	1.51	1.154305725	0.355694275
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.2200			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

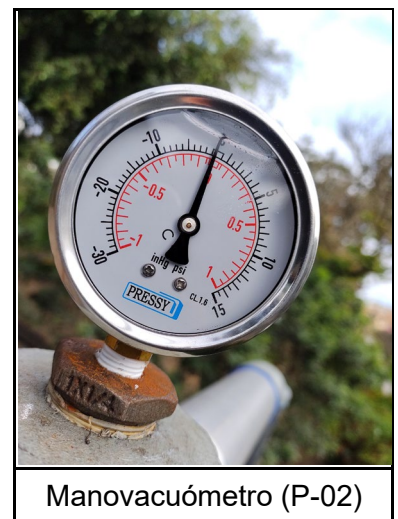
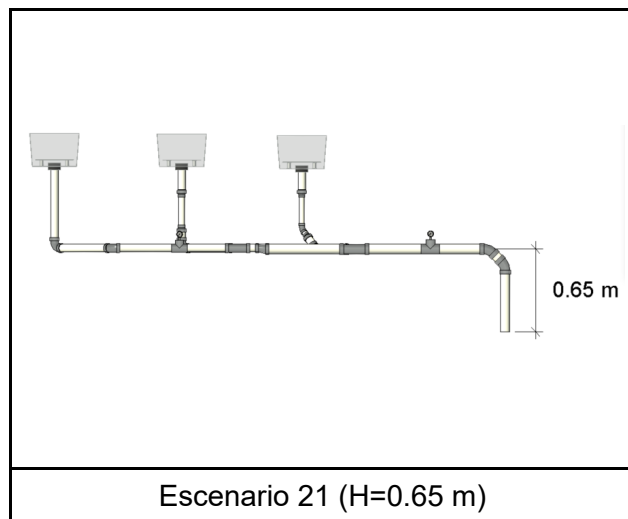
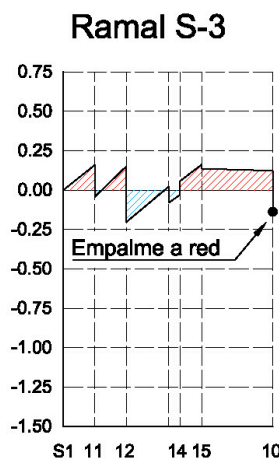
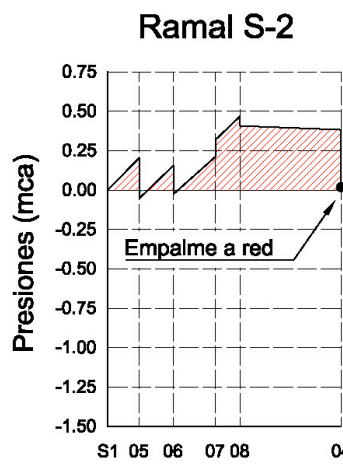
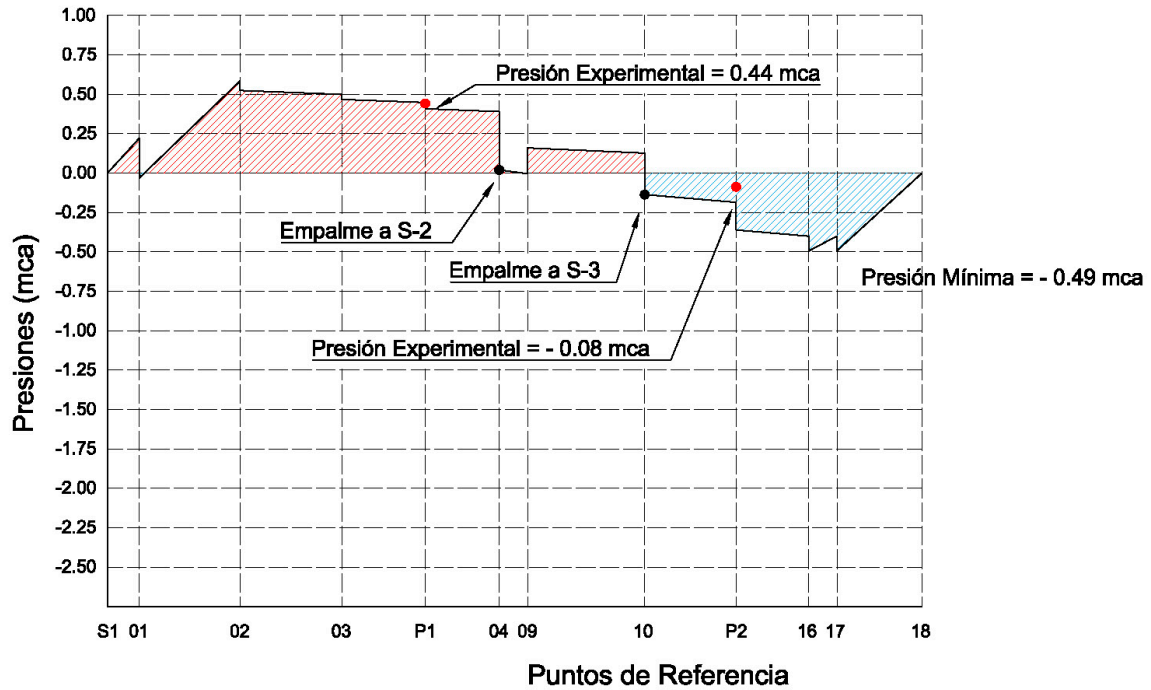
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
2.64	0.355694

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Anexo 25

Escenario 22 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones

Tabla 01: Niveles de Contenedores

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	20.00	20.00	0.00	0.0000
2	19.20	20.00	0.80	0.0080
3	18.00	20.00	2.00	0.0200

Tabla 02: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 01)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S1-P1	3.12	0.0031	D	2	0.0542	1.82	0.00	1.35	0.00	0.06	0.24	0.30
	0.00				0.0542	0.47	0.00	0.020	0.30	0.02	0.02	0.33
	3.12				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.00	0.05	0.00	0.05
	0.0031				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.33	0.39	0.39	0.39
P1-L3,1	3.12	0.0031	D	2	0.0542	0.47	0.00	1.35	0.30	0.02	0.02	0.33
	0.00				0.0542	0.47	0.00	0.020	0.30	0.02	0.02	0.33
	3.12				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.00	0.05	0.00	0.05
	0.0031				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.33	0.39	0.39	
L3,1-L3	3.12	0.0063	D	2	0.0542	0.00	0.00	2.73	0.33	0.00	0.05	0.33
	3.18				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.00	0.00	0.00	0.05
	6.30				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.33	0.39	0.39	
	0.0063				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.33	0.39	0.39	

Tabla 03: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S2-L1	3.18	0.0032	D	2	0.0542	0.22	0.00	1.38	0.01	0.01	0.17	0.19
	0.00				0.0542	0.22	0.00	0.020	0.01	0.01	0.17	0.19
	3.18				0.0542	0.22	0.00	0.020	0.01	0.01	0.17	0.19
	0.0032				0.0542	0.22	0.00	0.020	0.01	0.01	0.17	0.19
L1-L2	3.18	0.0032	D	1.5	0.0434	0.27	0.00	2.15	0.19	0.03	-	0.21
	0.00				0.0434	0.27	0.00	0.019	0.19	0.03	-	0.21
	3.18				0.0434	0.27	0.00	0.019	0.19	0.03	-	0.21
	0.0032				0.0434	0.27	0.00	0.019	0.19	0.03	-	0.21
L2-L3,2	3.18	0.0032	D	2	0.0542	0.80	0.00	1.38	0.21	0.03	0.10	0.34
	0.00				0.0542	0.80	0.00	0.020	0.03	0.03	0.10	0.34
	3.18				0.0542	0.80	0.00	0.020	0.03	0.03	0.10	0.34
	0.0032				0.0542	0.80	0.00	0.020	0.03	0.03	0.10	0.34
L3,2-L3	3.18	0.0063	D	2	0.0542	0.00	0.00	2.73	0.34	0.00	0.05	0.34
	3.12				0.0542	0.00	0.00	0.127	0.00	0.00	0.00	0.05
	6.30				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.00	0.00	0.00	0.05
	0.0063				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.00	0.00	0.00	0.05

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L3-L4	Qi (l/s) :	3.18	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.39	m
	Q (l/s) :	3.12			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.02	m
	Qt (l/s) :	6.30			V:	2.73	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0063							H Final:	0.41	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.41	m
	Q (l/s) :	6.30			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	6.30			V:	1.75	f:	0.018	hk:	0.08	m
	Qt (m3/s) :	0.0063							H Final:	0.51	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	6.30	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.51	m
	Q (l/s) :	2.90			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	9.20			V:	2.55	f:	0.017	hk:	0.07	m
	Qt (m3/s) :	0.0092							H Final:	0.59	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S3-L5	Qi (l/s) :	2.90	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	0.02	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	2.90			V:	1.26	f:	0.020	hk:	0.21	m
	Qt (m3/s) :	0.0029							H Final:	0.23	m
L5-L6	Qi (l/s) :	2.90	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.23	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.298	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	2.90			V:	2.56	f:	0.019	hk:	0.10	m
	Qt (m3/s) :	0.0029							H Final:	0.39	m
L6-L7	Qi (l/s) :	2.90	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.39	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.393	hf:	0.02	m
	Qt (l/s) :	2.90			V:	1.26	f:	0.020	hk:	0.19	m
	Qt (m3/s) :	0.0029							H Final:	0.60	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	2.90	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.60	m
	Q (l/s) :	6.30			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	9.20			V:	2.55	f:	0.017	hk:	- 0.01	m
	Qt (m3/s) :	0.0092							H Final:	0.59	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L8-P2	Qi (l/s) :	2.90	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	0.59	m
	Q (l/s) :	6.30			A(m2):	0.00	k:	0.248	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	9.20			V:	2.55	f:	0.017	hk:	0.08	m
	Qt (m3/s) :	0.0092							H Final:	0.71	m
P2-L9	Qi (l/s) :	2.90	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	1.08	H Inicial	0.71	m
	Q (l/s) :	6.30			A(m2):	0.00	k:	0.776	hf:	0.09	m
	Qt (l/s) :	9.20			V:	2.55	f:	0.017	hk:	0.26	m
	Qt (m3/s) :	0.0092							H Final:	1.06	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	0.5500	1.39	1.058856989	0.331143011
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.2000			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

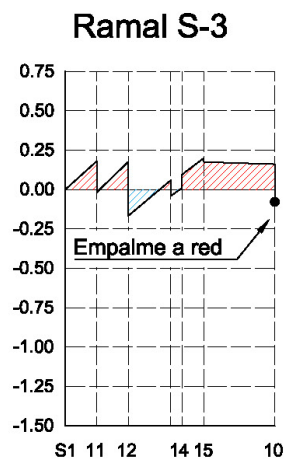
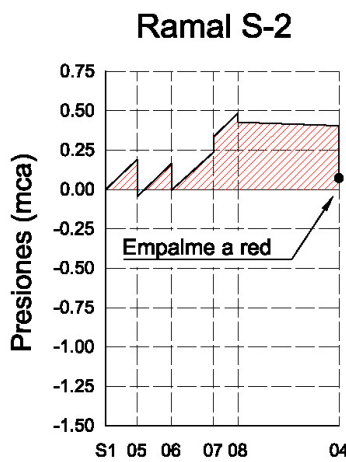
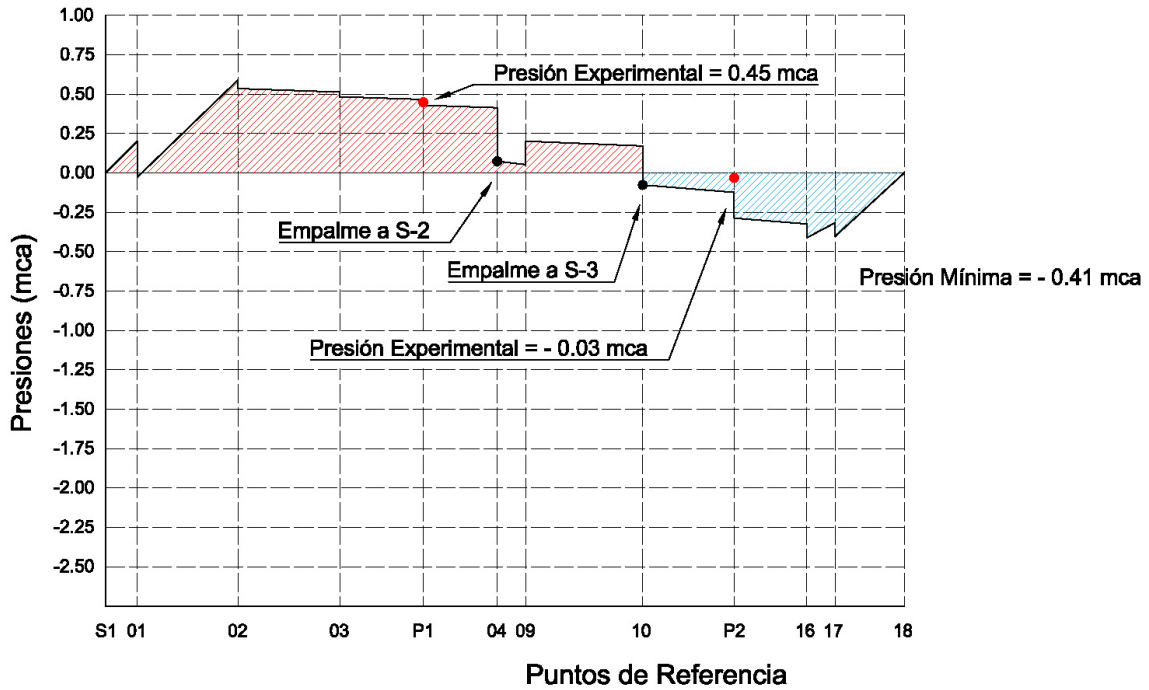
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
2.55	0.331143

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

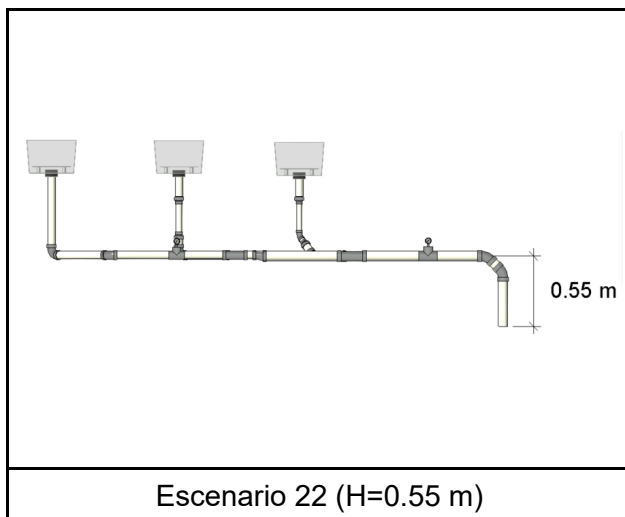
- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Manovacuómetro (P-01)



Manovacuómetro (P-02)

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	0.4500	1.285	0.978196302	0.306803698
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1950			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

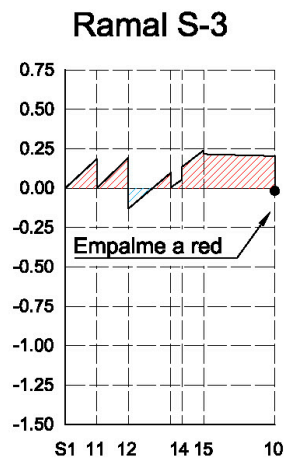
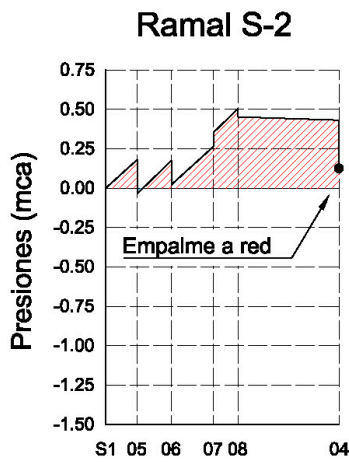
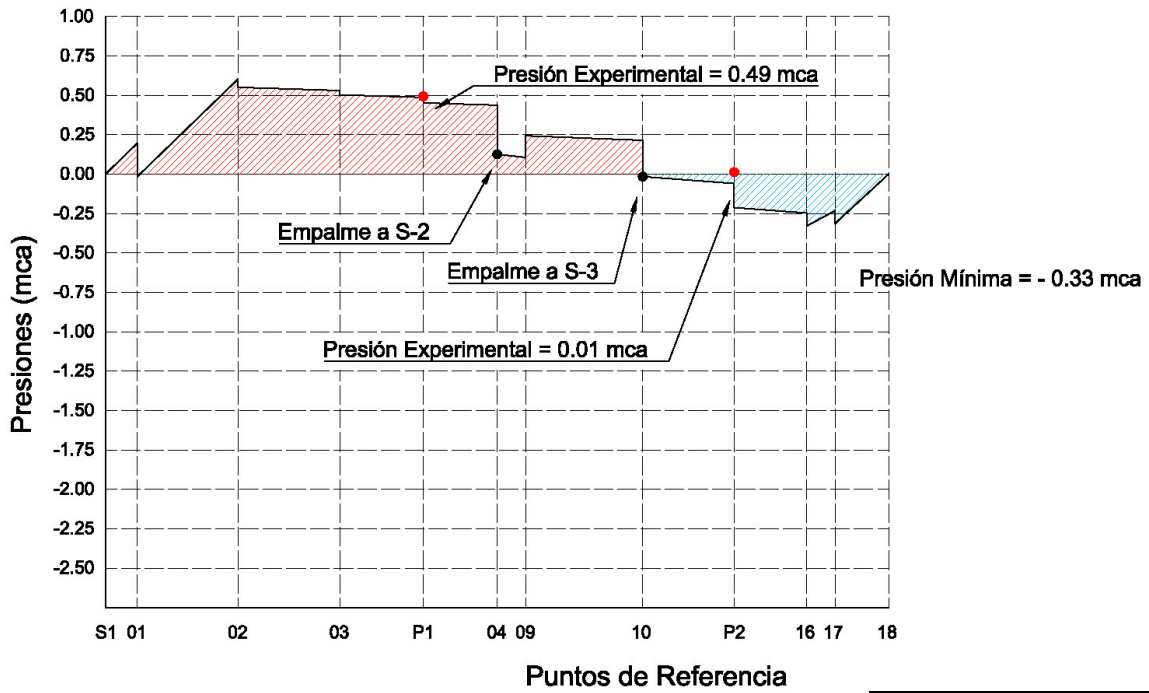
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
2.45	0.306804

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

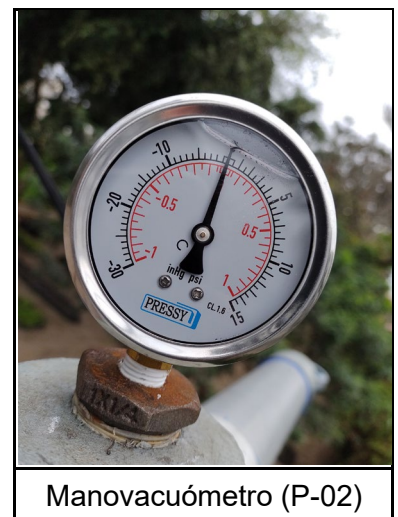
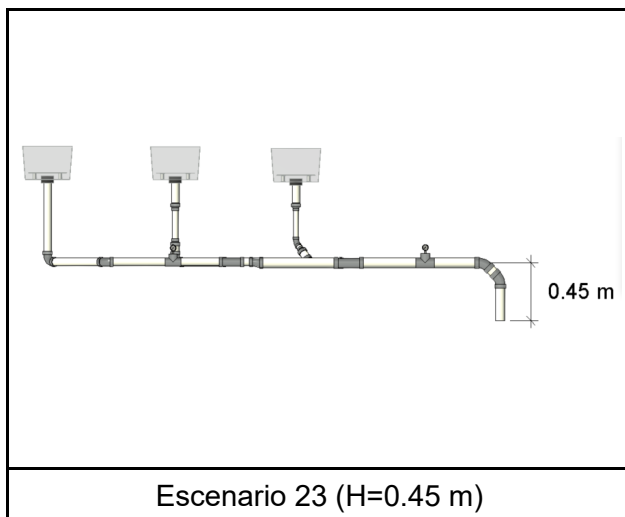
- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



Puntos de Referencia



Anexo 27

Escenario 24 – Cálculo Hidráulico y Diagrama de Presiones

Tabla 01: Niveles de Contenedores

Sumidero	Nivel de agua (m)	Referencia (m)	Valor de Compensación	
			(cm)	(m)
1	17.90	17.90	0.00	0.0000
2	15.20	17.90	2.70	0.0270
3	14.00	17.90	3.90	0.0390

Tabla 02: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 01)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S1-P1	2.91	0.0029	D	2	0.0542	1.82	0.00	1.26	0.00	0.05	0.21	0.26
	0.00				0.0542	0.47	0.00	0.020	0.26	0.01	0.02	0.29
	2.91				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.29	0.00	0.04	0.34
	0.0029				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.34	0.34	0.34	0.34
P1-L3,1	2.91	0.0029	D	2	0.0542	0.47	0.00	1.26	0.26	0.01	0.02	0.29
	0.00				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.29	0.00	0.04	0.34
	2.91				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.34	0.34	0.34	0.34
	0.0029				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.34	0.34	0.34	0.34
L3,1-L3	2.91	0.0029	D	2	0.0542	0.00	0.00	1.26	0.29	0.00	0.04	0.34
	2.87				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.29	0.00	0.04	0.34
	5.78				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.34	0.34	0.34	0.34
	0.0058				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.34	0.34	0.34	0.34

Tabla 03: Confluencia en el Punto L3 (Sumidero 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga			
	Qi (l/s)	Qt (m3/s)	D		D(m)	L(m)	A(m2)	V	H Inicial	hf	hk	H Final
S2-L1	2.87	0.0029	D	2	0.0542	0.22	0.00	1.24	0.03	0.01	0.14	0.17
	0.00				0.0542	1.750	0.03	0.01	0.17	0.17	0.17	0.17
	2.87				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.17	0.00	0.04	0.34
	0.0029				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.34	0.34	0.34	0.34
L1-L2	2.87	0.0029	D	1.5	0.0434	0.27	0.00	1.94	0.17	0.02	-	0.19
	0.00				0.0434	-	0.17	0.02	0.19	0.19	0.19	0.19
	2.87				0.0434	0.00	0.00	0.137	0.19	0.00	0.04	0.34
	0.0029				0.0434	0.00	0.00	0.017	0.34	0.34	0.34	0.34
L2-L3,2	2.87	0.0029	D	2	0.0542	0.80	0.00	1.24	0.19	0.02	0.08	0.30
	0.00				0.0542	1.019	0.19	0.02	0.30	0.30	0.30	0.30
	2.87				0.0542	0.00	0.00	0.137	0.30	0.00	0.04	0.34
	0.0029				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.34	0.34	0.34	0.34
L3,2-L3	2.87	0.0029	D	2	0.0542	0.00	0.00	1.24	0.30	0.00	0.04	0.34
	2.91				0.0542	0.127	0.30	0.00	0.04	0.34	0.34	0.34
	5.78				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.34	0.34	0.34	0.34
	0.0058				0.0542	0.00	0.00	0.017	0.34	0.34	0.34	0.34

Tabla 04: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 01 y 02)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L3-L4	Qi (l/s) :	2.87	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.18	H Inicial	0.34	m
	Q (l/s) :	2.91			A(m2):	0.00	k:	-	hf:	0.02	m
	Qt (l/s) :	5.78			V:	2.50	f:	0.017	hk:	-	m
	Qt (m3/s) :	0.0058							H Final:	0.36	m
L4-L8,1	Qi (l/s) :	0.00	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.74	H Inicial	0.36	m
	Q (l/s) :	5.78			A(m2):	0.00	k:	0.490	hf:	0.03	m
	Qt (l/s) :	5.78			V:	1.60	f:	0.018	hk:	0.06	m
	Qt (m3/s) :	0.0058							H Final:	0.45	m
L8,1-L8	Qi (l/s) :	5.78	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.45	m
	Q (l/s) :	2.62			A(m2):	0.00	k:	0.217	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	8.40			V:	2.33	f:	0.017	hk:	0.06	m
	Qt (m3/s) :	0.0084							H Final:	0.51	m

Tabla 05: Confluencia en el Punto L7 (Sumidero 03)

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
S3-L5	Qi (l/s) :	2.62	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.20	H Inicial	0.04	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.575	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	2.62			V:	1.14	f:	0.020	hk:	0.17	m
	Qt (m3/s) :	0.0026							H Final:	0.21	m
L5-L6	Qi (l/s) :	2.62	D	1.25	D(m):	0.038	L(m):	0.34	H Inicial	0.21	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	0.304	hf:	0.05	m
	Qt (l/s) :	2.62			V:	2.31	f:	0.019	hk:	0.08	m
	Qt (m3/s) :	0.0026							H Final:	0.34	m
L6-L7	Qi (l/s) :	2.62	D	2	D(m):	0.0542	L(m):	0.59	H Inicial	0.34	m
	Q (l/s) :	0.00			A(m2):	0.00	k:	2.400	hf:	0.01	m
	Qt (l/s) :	2.62			V:	1.14	f:	0.020	hk:	0.16	m
	Qt (m3/s) :	0.0026							H Final:	0.52	m
L8,2-L8	Qi (l/s) :	2.62	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.00	H Inicial	0.52	m
	Q (l/s) :	5.78			A(m2):	0.00	k:	- 0.036	hf:	0.00	m
	Qt (l/s) :	8.40			V:	2.33	f:	0.017	hk:	- 0.01	m
	Qt (m3/s) :	0.0084							H Final:	0.51	m

Tabla 06: Recorrido para Descarga Final

Tramo	Caudal		Diametro Pulgadas		Datos Hidráulicos				Pérdida de Carga		
					D(m):	L(m):	k:	f:	H Inicial	hf:	hk:
L8-P2	Qi (l/s) :	2.62	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.58	H Inicial	0.51	m
	Q (l/s) :	5.78			A(m2):	0.00	k:	0.252	hf:	0.04	m
	Qt (l/s) :	8.40			V:	2.33	f:	0.017	hk:	0.07	m
	Qt (m3/s) :	0.0084							H Final:	0.61	m
P2-L9	Qi (l/s) :	2.62	D	2.5	D(m):	0.0678	L(m):	0.88	H Inicial	0.61	m
	Q (l/s) :	5.78			A(m2):	0.00	k:	0.790	hf:	0.06	m
	Qt (l/s) :	8.40			V:	2.33	f:	0.017	hk:	0.22	m
	Qt (m3/s) :	0.0084							H Final:	0.89	m

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$\Delta H - hf_{S1-L8} - hk_{S1-L8} = \frac{V_{L8}^2}{2g}$$

Tabla 07: Primer Término de la Ecuación de Equilibrio

Descripción	Altura (m)	Diferencia Geométrica	Pérdida de Carga	$\Delta H - hf - hk$ (m)
		ΔH	$hf_{S1-L8} + hk_{S1-L8}$	
Bajante Principal	0.3500	1.169	0.892986378	0.276013622
Bajante Secundaria	0.6400			
Nivel de Agua - Sumidero 01	0.1790			

Tabla 08: Segundo Término de la ecuación de Equilibrio

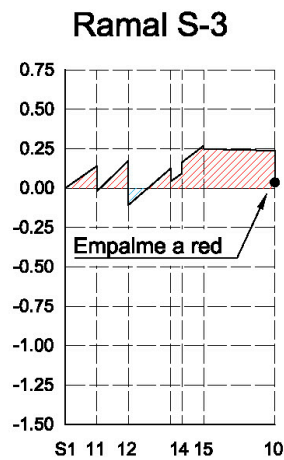
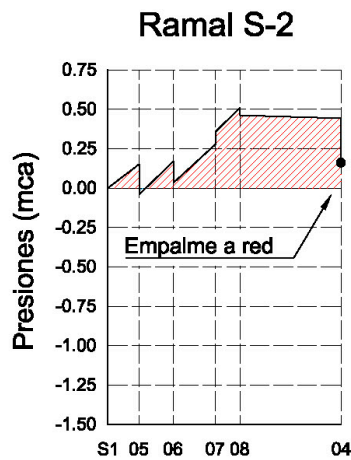
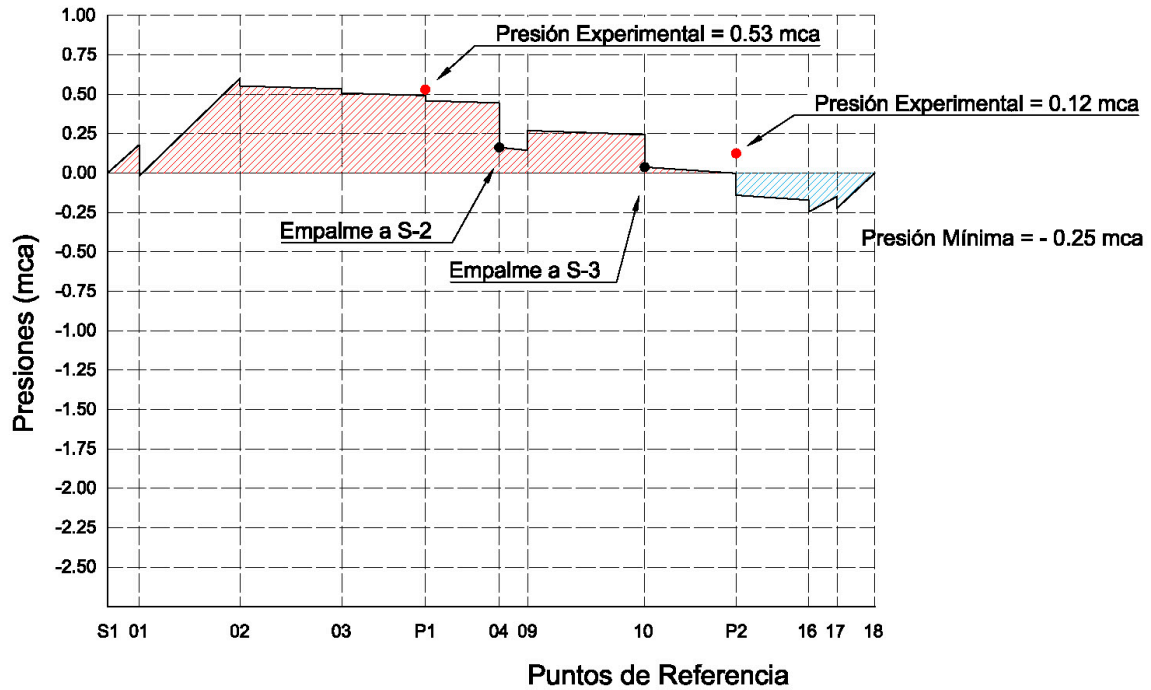
Velocidad en la Descarga (m/s)	Energía Cinética (m)
2.33	0.276013

El cálculo hidráulico referente al presente escenario se realizó en base a:

- Diámetros reales de tuberías mencionadas en la Tabla 4.1.3.
- Longitudes reales de cada tramo descritas en el Anexo 2.
- Coeficientes de fricción detallados en la Tabla 5.4.1.
- Puntos críticos que determinan cada tramo especificado en el Anexo 1.

A continuación, se muestran los diagramas de presión resultantes del cálculo hidráulico donde se ubicaron las presiones experimentales obtenidas de los manovacúómetros instalados en el sistema sifónico. Los diagramas muestran la evolución de la presión a lo largo del recorrido del agua en las tuberías usando puntos referenciales específicos detallados en el **Anexo 3**.

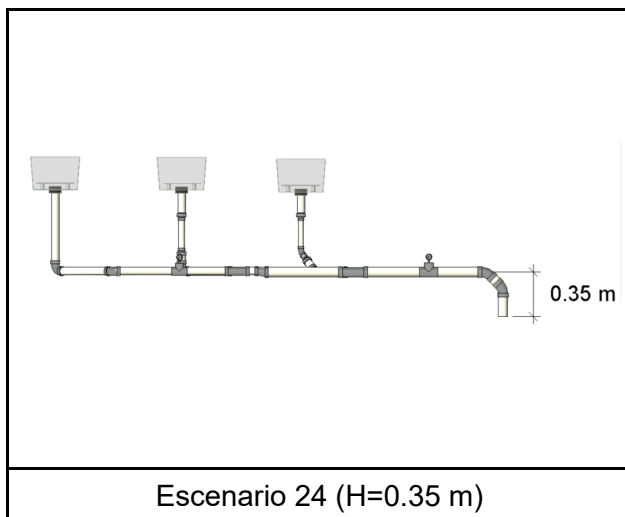
DIAGRAMAS DE PRESIÓN General



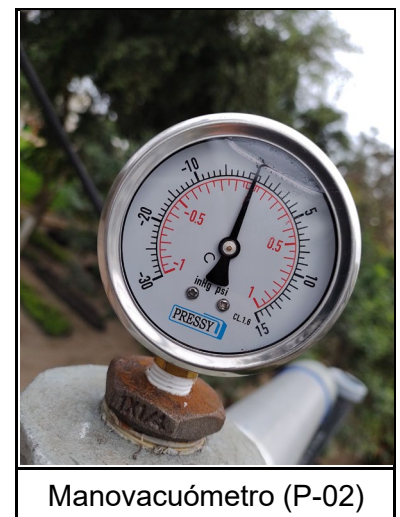
Puntos de Referencia



Manovacuómetro (P-01)



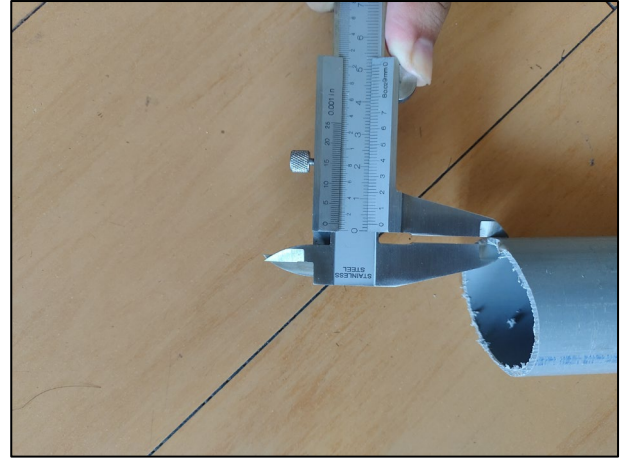
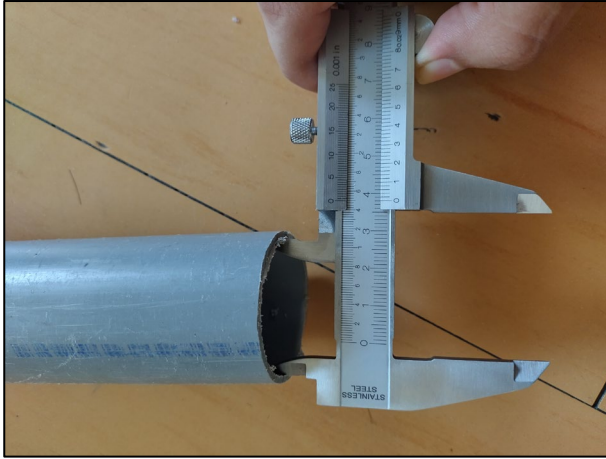
Escenario 24 (H=0.35 m)



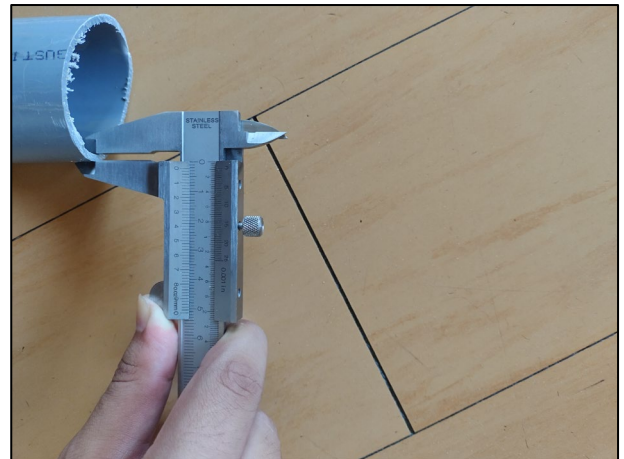
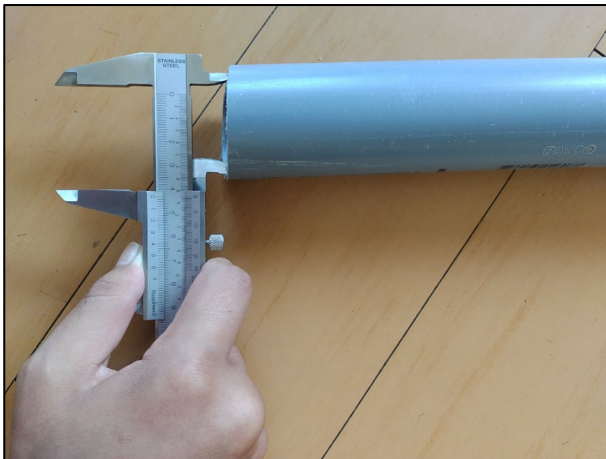
Manovacuómetro (P-02)

Anexo 28

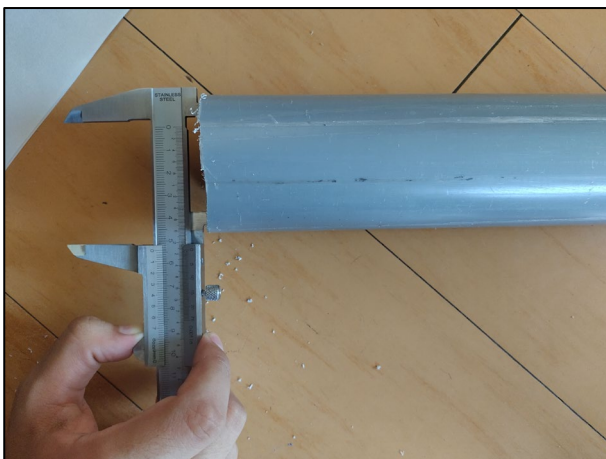
Panel Fotográfico



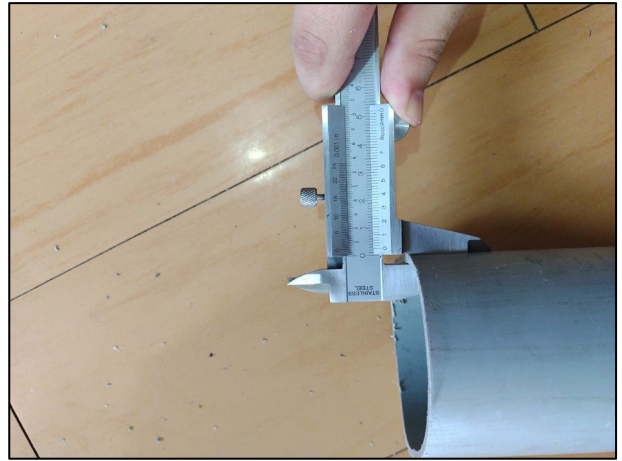
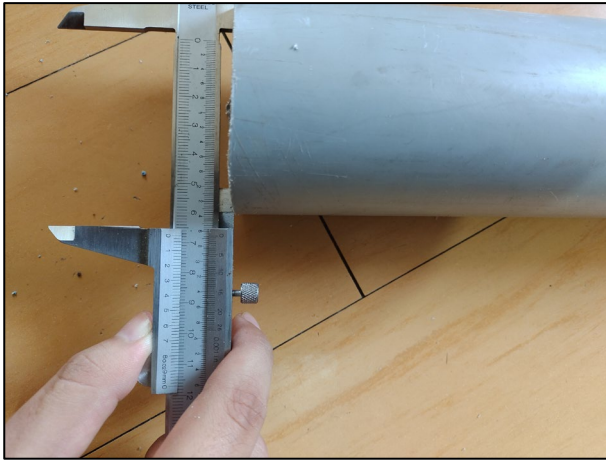
1. Tubería de PVC de $\text{Ø}1\frac{1}{4}$ " con diámetro interno de 38 mm y 2 mm de espesor



2. Tubería de PVC de $\text{Ø}1\frac{1}{2}$ " con diámetro interno de 43.4 mm y 2.3 mm de espesor



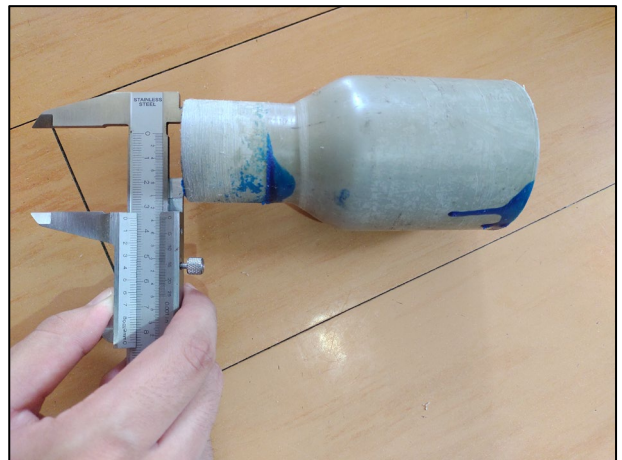
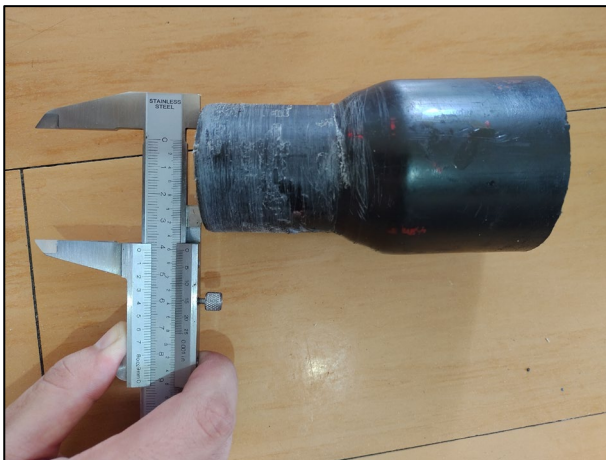
3. Tubería de PVC de $\text{Ø}2$ " con diámetro interno de 54.2 mm y 2.9 mm de espesor



4. Tubería de PVC de $\text{Ø}2\frac{1}{2}$ " con diámetro interno de 67.8 mm y 2.6 mm de espesor



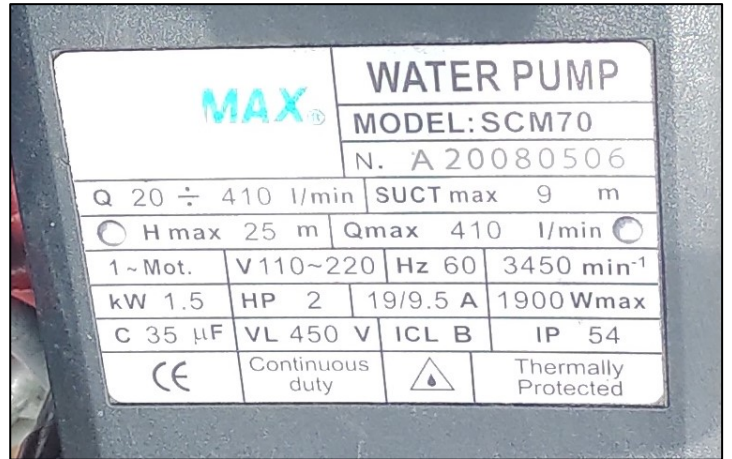
5. Yee de $\text{Ø}2$ " con $\text{Ø}2$ " y de $\text{Ø}3$ " con $\text{Ø}2$ "



6. Reducción de $\text{Ø}2$ " a $\text{Ø}2\frac{1}{2}$ " y de $\text{Ø}2$ " a $\text{Ø}2\frac{1}{4}$ "



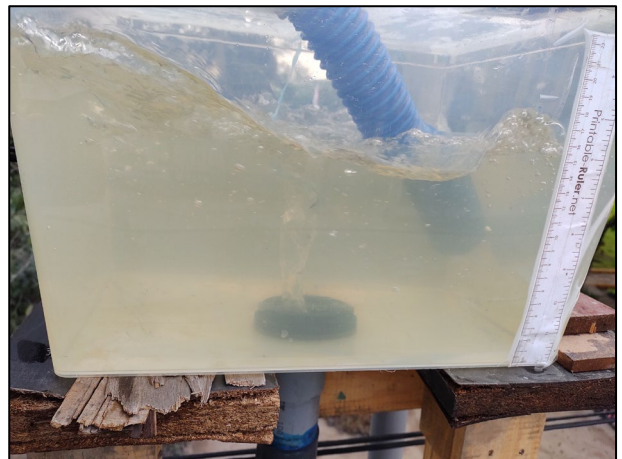
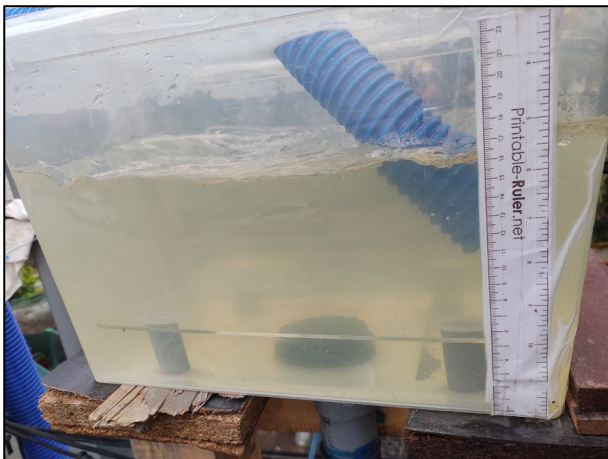
7. Reducción de $\text{Ø}2\frac{1}{2}$ " a $\text{Ø}2$ "



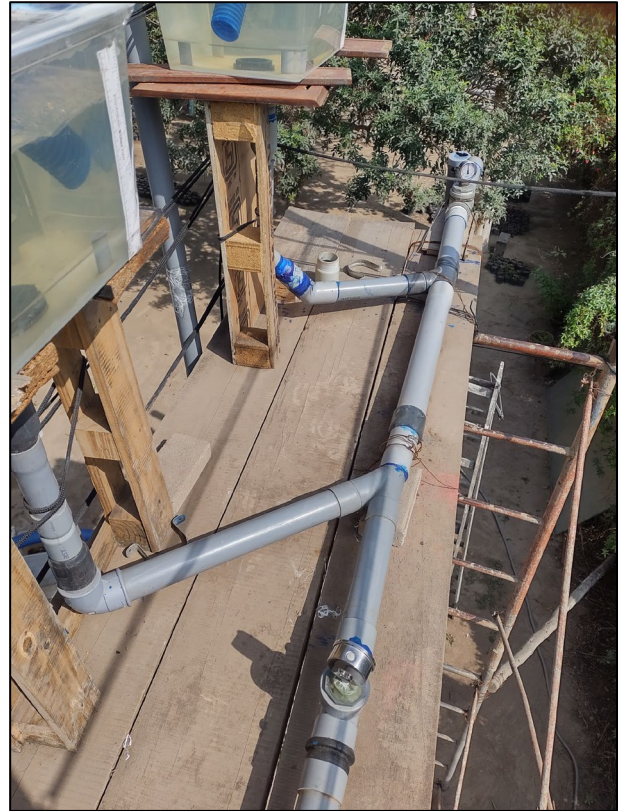
8. Bombas de 2 HP AQUAMAX $\text{Ø}2$ " – $\text{Ø}2$ "



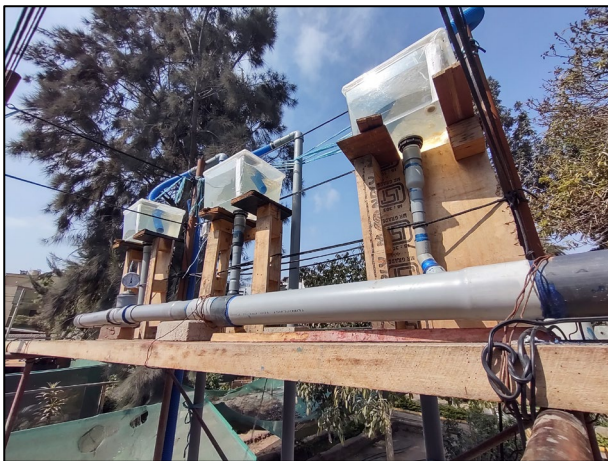
9. Contenedor de 60L y balanza electrónica de 100 kg



10. Contenedor con Sumidero Sifónico y sin Sumidero Sifónico



11. Red del Sistema Sifónico (Vista planta)



12. Red del Sistema Sifónico (Vista frontal)



13. Vista general del experimento y del tesista.

Anexo 29

Permiso de uso de Instalaciones del Vivero de la Municipalidad de Breña



“AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERU: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA”

Breña, 12 de abril del 2021

CARTA N°022 -2021-GSCGA/ MDB

Señor:
Bach. Renzo Pietro Marquina Asto
Jr. Rebeca Oquendo N°409-Breña

Presente. –

Asunto: Autorización para el uso de las Instalaciones del vivero Municipal de Breña

Referencia: D. S. 202103415

De mi especial consideración:

Es grato dirigirme a Usted, para saludarlo cordialmente en nombre de la Gerencia de Servicios Comunes y Gestión Ambiental y el mío propio.

Al respecto, cumpla con informar que se verificó la documentación presentada por su persona, en la cual solicita autorización para el uso de las instalaciones del Vivero Municipal con el objetivo de desarrollar la tesis experimental denominada: “Determinación de la Eficiencia de un Sistema de Drenaje Sifónico de Múltiple Entrada para Edificaciones a Escala Reducida”.

En ese sentido, se comunica que dicha solicitud ha sido **APROBADA**, por lo que se realizarán las coordinaciones correspondientes a fin de que pueda proceder con el desarrollo de su tesis experimental.

Agradeciendo de antemano su atención a la presente aprovecho la ocasión para reiterarle las muestras de mi consideración y estima personal.

Atentamente



MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE BREÑA

Ing. CESAR FERNANDO IBÁÑEZ ALFARO
GERENTE DE SERVICIOS COMUNALES Y GESTIÓN AMBIENTAL